NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ DA SOCIEDADE BRASILEIRA
DE CIÊNCIA DO SOLO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



IX RPCS

Reunião Paranaense
de Ciência do Solo

Curitiba – 13 a 15 de maio de 2025

ANAIS DA IX REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO

DIVERSIDADE, FUNÇÕES E USOS DO SOLO:
DESAFIOS E OPORTUNIDADES



Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Núcleo Estadual Paraná

Diretor
Oromar João Bertol

Vice-Diretor
Alessandro Samuel Rosa

Segunda Vice-Diretora
Nerilde Favaretto

Secretário
André Carlos Auler

Segunda Secretária
Letícia de Pierri

Tesoureira
Carla Fernanda Ferreira

Segundo Tesoureiro
Edivan José Passomai

UFPR

Reitor
Marcos Sunye

Diretor do Setor de Ciências Agrárias
Volnei Pauletti

Chefe do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Samir Paulo Jasper

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Karina Maria Vieira Cavalieri Polizeli

Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Universidade Federal do Paraná

ANAIS DA IX REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO

DIVERSIDADE, FUNÇÕES E USOS DO SOLO: DESAFIOS E OPORTUNIDADES



Organizadores

Marcelo Ricardo de Lima

Glaciela Kaschuk

Curitiba – PR

2025

Copyright©2025 – Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Os conceitos e opiniões emitidos pelos autores dos resumos expandidos desta publicação são de responsabilidade dos mesmos.

ISBN: 978-85-69146-11-7
2025
Capa: Anna Cecília Ferreira Stremel

Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Rua dos Funcionários, 1540 – Cabral – Curitiba – PR
Tel. (41) 3350-5658
E-mail: diretor@sbcs-nepar.org.br
Site: https://sbcs-nepar.org.br/



Licença de uso disponível em:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Reunião Paranaense de Ciência do Solo
(9. : 2025 Curitiba, PR)
Anais da IX Reunião Paranense de Ciência do Solo [livro eletrônico] : diversidade, funções e usos do Solo : desafios e oportunidades / organizadores Marcelo Ricardo de Lima, Glaciela Kaschuk. - - Curitiba, PR : NEPAR-SBCS : Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2025.
PDF

Vários autores.
ISBN 978-85-69146-11-7

1. Agricultura 3. Artigos - Coletâneas 3. Ciência do solo 4. Trabalhos científicos I. Lima, Marcelo Ricardo de II. Kaschuk, Glaciela. III. Título.

25-268966 CDD-631 . 4

Índices para catálogo sistemático:
1. Ciência dos solos 631.4
Eliane de Freitas Leite – Bibliotecária – CRB 8/8415



ORGANIZADORES DOS ANAIS DA IX RPCS

Marcelo Ricardo de Lima

Engenheiro Agrônomo. Especialista em Educação à Distância. Mestre em Ciência do Solo. Doutor em Agronomia. Docente do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

Glaciela Kaschuk

Engenheira Agrônoma. Mestre em Microbiologia. Doutora em Agronomia. Docente do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

APRESENTAÇÃO DOS ANAIS

É com grande satisfação que apresentamos os Anais da IX Reunião Paranaense de Ciência do Solo, realizada entre os dias 13 e 15 de maio de 2025, na cidade de Curitiba (PR). Este evento representa um importante espaço de troca de experiências, atualização científica e integração entre profissionais, pesquisadores, estudantes e demais interessados nas diversas áreas da Ciência do Solo.

Os 245 trabalhos reunidos nestes Anais, sob a forma de resumos expandidos, refletem a diversidade de temas e a qualidade das pesquisas desenvolvidas no estado do Paraná e em outras regiões do país. A produção e submissão destes resumos demonstram o compromisso da comunidade científica com o avanço do conhecimento técnico-científico e com a busca de soluções para os desafios relacionados ao uso e manejo do solo.

Agradecemos aos autores que submeteram seus trabalhos, contribuindo para a riqueza deste material. Estendemos nossos sinceros e profundos agradecimentos à Comissão Científica do evento, pela criteriosa avaliação das submissões, e aos revisores *ad hoc*, cujo trabalho dedicado e criterioso foi fundamental para assegurar a qualidade e a relevância dos conteúdos aqui publicados.

Desejamos que este material sirva como fonte de inspiração, aprendizado e novas colaborações entre os participantes e toda a comunidade envolvida com a Ciência do Solo no estado do Paraná.

Boa leitura!

Marcelo Ricardo de Lima
Glaciela Kaschuk
Organizadores dos Anais

MENSAGEM DA COORDENAÇÃO GERAL DA IX RPCS

A IX Reunião Paranaense de Ciência do Solo, realizada de 13 a 15 de maio de 2025, em Curitiba (PR), representa mais um marco no fortalecimento da Ciência do Solo no estado do Paraná e na promoção do diálogo entre diferentes setores da sociedade. A RPCS de 2025 com o tema "Diversidade, funções e usos do solo: Desafios e oportunidades" reuniu um público amplo para discutir questões atuais e tendências futuras da Ciência do Solo no Paraná, nas diferentes áreas de atuação, com vistas a ressaltar a relação humana com os bens naturais. Uma programação rica e diversificada foi planejada com mesas redondas, seminários, apresentações de trabalhos científicos, excursões e minicursos.

Organizar a RPCS é uma grande responsabilidade e, para nós, foi também uma grande honra e uma oportunidade de reunir esforços em prol da ciência, da educação e da inovação. Por isso, é com grande gratidão que reconhecemos o trabalho incansável de toda a Comissão Organizadora, que se dedicou com competência, empenho, responsabilidade e entusiasmo para que este evento se concretizasse com excelência.

Agradecemos às instituições organizadoras – Universidade Federal do Paraná (UFPR), Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), Universidade Tuiuti do Paraná (UTP), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB), Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR), Instituto Água e Terra (IAT) e EMBRAPA Florestas – pelo apoio institucional, técnico e científico que tornou possível a realização deste espaço de discussão e congregação científica.

Também expressamos nosso sincero agradecimento às entidades patrocinadoras – SEAB, FAEP, SIMEPAR, UFPR/PROEC, SANEPAR, Fundação AGRISUS, CREA-PR, Calcário Mocellin e Calpar Calcário Agrícola – por acreditarem na importância deste evento e viabilizarem, com seu apoio, as diversas atividades que compuseram sua programação.

Por fim, agradecemos a cada participante da IX Reunião Paranaense de Ciência do Solo. Sua presença e contribuição foram a razão e a vitalidade deste encontro. Que os diálogos aqui iniciados e as conexões estabelecidas sigam fortalecendo a Ciência do Solo no Paraná e no Brasil.

Nerilde Favaretto
Coordenadora Geral da IX Reunião Paranaense de Ciência do Solo

MENSAGEM DO DIRETOR DO NEPAR/SBCS

A IX Reunião Paranaense de Ciência do Solo (RPCS), realizada de 13 a 15 de maio de 2025, em Curitiba, reafirma a importância deste evento como um espaço essencial para o fortalecimento da Ciência do Solo no estado do Paraná. Promovida pelo Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBCS), a RPCS se consolidou ao longo dos anos como um fórum dinâmico de troca de experiências, integração entre instituições e estímulo ao desenvolvimento técnico-científico voltado à sustentabilidade do uso dos solos paranaenses.

Desde a realização da I Reunião Paranaense de Ciência do Solo, em 2009 — ocasião em que também foi criado o NEPAR-SBCS —, temos trabalhado com o compromisso de promover a difusão do conhecimento, incentivar o intercâmbio entre profissionais e contribuir para a valorização da Ciência do Solo em diferentes contextos. A cada edição, vemos com satisfação o crescimento do evento, tanto em número de participantes quanto em diversidade de temas abordados, refletindo o amadurecimento da comunidade científica e técnica atuante na área.

Em nome da diretoria do NEPAR-SBCS, agradeço profundamente o empenho das entidades organizadoras e da Comissão Organizadora local, que não mediram esforços para realizar mais esta edição da RPCS com excelência, mesmo diante dos desafios logísticos e operacionais que um evento dessa magnitude impõe.

Nosso agradecimento também se estende às entidades patrocinadoras — SEAB, FAEP, SIMEPAR, UFPR/PROEC, SANEPAR, Fundação AGRISUS, CREA-PR, Calcário Mocellin e Calpar Calcário Agrícola —, cujo apoio foi fundamental para a viabilização desta Reunião.

Desejamos pleno êxito à equipe que assumirá a organização da próxima edição da RPCS, certos de que o evento continuará a cumprir seu papel estratégico no avanço da Ciência do Solo no Paraná.

Oromar João Bertol
Diretor do Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

COMISSÃO ORGANIZADORA DA IX RPCS

Coordenação Geral
Nerilde Favaretto

Tesoureiro
Jeferson Dieckow

Secretário
Marcelo Ricardo de Lima

Comissão Científica I (Trabalhos Científicos)
Glaciela Kaschuk (UFPR) (Coordenadora); Bruna Ramalho (UTP); Daniel Hanke (UFPR); Felipe Bonini da Luz (UFPR); Jessica Nogaroli (UTP); Leticia de Pierri (PUC-PR); Marcos Dolinski (UTP).

Comissão Científica II (Palestras)
Renato Marques (UFPR) (Coordenador); Graziela Moraes de Cesare Barbosa (IDR-PR); Arnaldo Colozzi Filho (IDR-PR); Nerilde Favaretto (UFPR); Bruna Ramalho (UTP); Marcelo Ricardo de Lima (UFPR); Felipe Bonini da Luz (UFPR); Jeferson Dieckow (UFPR); Glaciela Kaschuk (UFPR); Daniel Hanke (UFPR); Jairo Calderari de Oliveira Junior (UFPR); Karina Maria Vieira Cavalieri Polizeli, UFPR; Alessandro Samuel-Rosa, UTFPR

Comissão Científica III (Minicursos e Excursões)
Jairo Calderari de Oliveira Junior (UFPR) (Coordenador); Antônio Carlos de Vargas Motta (UFPR); Krisle da Silva (EMBRAPA Florestas); Taciara Zborowski Horst (UTFPR); William Santiago de Mendonça (UFPR).

Comissão Financeira
Nerilde Favaretto (UFPR) (Coordenadora); Arnaldo Colozzi Filho (IDR-PR); Antonio Ricardo Lorenzon (SEAB-PR); Jeferson Dieckow (UFPR); Oromar João Bertol (NEPAR-SBCS); Richard Golba (IDR-PR); Rossana Baldanzi (IAT); Volnei Pauletti (UFPR).

Comissão de Infraestrutura, Transporte, Hospedagem e Alimentação
Marco Aurélio de Mello Machado (UFPR) (Coordenador); Shirley Grazieli da Silva Nascimento (UFPR); Angelo Evaristo Sirtoli (UFPR); Camila Bertoletti Carpenedo (UFPR); George Gardner Brown (EMBRAPA Florestas); Kerolaine Woitchik (UFPR); William Santiago de Mendonça (UFPR); Laura Cristiane Nascimento Freitas (UFPR); Paloma Estefane Santana Ferreira (UFPR); Pedro Henrique Malucelli Mariotto (UFPR).

Comissão de Comunicação
André Carlos Auler (UFPR) (Coordenador); Anna Cecília Ferreira Stremel (UFPR); Guilherme de Souza Sotsek (UFPR); Regiane Leal (UFPR/UFRGS); Aline Aparecida dos Santos (SIMEPAR); Kaline Aparecida Vagner (UFPR); Vanessa Romanoski (UFPR); Helayne Aparecida Maieves (UFPR); Eloana Janice Bonfleur (UFPR); Bruno Vizioli (Sistema FAEP); Vinicius Charnecki Galvão (UFPR).

REVISORES DOS TRABALHOS CIENTÍFICOS

Alberto Carlos de Campos Bernardi
Alexandre Hack Porto
Aline Marques Genú
Ana Lúcia Londero
Ana Paula Marés Mikosik
Anderson Sandro da Rocha
André Carlos Auler
André Luiz Oliveira de Francisco
André Pellegrini
Andrea Scaramal S. Menoncin
Andressa Kerecz Tavares
Angelica Lorini
Antonio Yan Viana Lima
Arnaldo Colozzi Filho
Barbara Elis Santos Ruthes
Beatriz da Silva Vanolli
Bruna Emanuele Schiebelbein
Bruna Ramalho
Bruna Wurr Rodak
Carolina Smanhotto Schuchovski
Caroline Amadori
Cristiano Andre Pott
Daniel Hanke
Danilo Eduardo Rozane
Deise Paludo
Delmar Santin
Dinéia Tessaro
Edivan José Passomai
Edleusa Pereira Seidel
Edneia Souza Paccola
Edson Lucas Camilo
Eliziane Luiza Benedetti
Eloá Moura Araújo
Fabiana Gavelaki
Fabiane Machado Vezzani
Felipe Bonini da Luz
Gabriela Machineski da Silva
Glaciela Kaschuk
Glêvia Kamila Lima
Gracieli Fernandes
Graziela Moraes de Cesare Barbosa
Gustavo Ferreira Coelho
Gustavo Pereira Valani
Heloisa Baldinotti
Jair Augusto Zanon
Jeferson Dieckow
Jessica Pereira de Souza
João Tavares Filho
Jonatas Piva
Jorge Luiz Moretti de Souza
José Ricardo Macedo Pezzopane
Josiane Burkner dos Santos
Josileia Zanatta
Jully Gabriela Retzlaf de Oliveira
Kaline Aparecida Wagner
Leandro Rampim
Letícia de Pierri
Marcelo Marques Lopes Müller
Marcelo Ricardo de Lima
Márcia Regina Calegari
Marcos Antonio Dolinski
Murilo Francisco Travençoli Rossetim
Nerilde Favaretto
Rafael Hennel Tulio
Rafaela Tavares Dudas
Raphael Anzalone
Raul Matias Cezar
Renan Costa Beber Vieira
Shirley Grazieli da Silva Nascimento
Tamires Maiara Ercole
Vanda Moreira Martins
Vanessa Silva Romanoski

PROMOÇÃO

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Núcleo Estadual Paraná

ORGANIZAÇÃO E APOIO

UFPR
DSEA UFPR
PG SOLOS UFPR
Embrapa Florestas
INSTITUTO ÁGUA E TERRA
IDR-Paraná
PARANÁ GOVERNO DO ESTADO SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO
SISTEMA FAEP SENAR PARANÁ FAEP SINDICATO RURAL
PUCPR
UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PATROCÍNIO

PARANÁ GOVERNO DO ESTADO SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO
SISTEMA FAEP SENAR PARANÁ FAEP SINDICATO RURAL
simepar
UFPR UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROEC Pro-reitoria de Extensão de Cultura
SANEPAR COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ
agrisus fundação
CALCÁRIO MOCELLIN Maximizando soluções em Calagem
CALPAR CALCÁRIO AGRÍCOLA
CREA-PR Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná

PROGRAMAÇÃO DA IX REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO

DIA 13/05/2025 – TERÇA-FEIRA

08:00-09:00 - ENTREGA DE MATERIAL E VISITAÇÃO AOS ESTANDES

09:00-10:00 - SESSÃO SOLENE DE ABERTURA DA IX RPCS

10:00-11:30 - MESA REDONDA: Solos, governança e serviços ecossistêmicos

Palestra 1 - Solos brasileiros: ameaças às funções e serviços ecossistêmicos - Lúcia Helena Cunha dos Anjos (UFRRJ)

Palestra 2 - Recarga e descarga hidrológica em solos agrícolas - Gustavo Ribas Curcio (EMBRAPA Florestas)

Debatedora: Nilvânia Aparecida de Mello (UTFPR)

Moderador: Felipe Bonini da Luz (UFPR)

14:00-16:30 – EIXO TEMÁTICO I – SOLO E SUSTENTABILIDADE HUMANA E AMBIENTAL

SEMINÁRIO 1 – SOLO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Palestra 1 - Paraná: região de transição nas mudanças climáticas da precipitação - Alice Grimm (UFPR - Departamento de Física)

Palestra 2 - Manejo do solo e água como estratégia de adaptação às mudanças climáticas - Henrique Debiasi (EMBRAPA Soja)

Palestra 3 - IrrigaSIM: uso de IA para o planejamento de sistema de irrigação no Paraná - Bernardo Lipski (SIMEPAR)

Trabalho oral - Carbono no solo e rendimento da soja após 37 anos de sistemas de manejo do solo com uso de plantas de cobertura na região sudoeste do Paraná - Lutecia Beatriz Canalli (IDR-PR)

Debatedor: Paulo Cesar Conceição (UTFPR)

Moderador: Marco Aurelio de Mello Machado (UFPR)

SEMINÁRIO 2 – DEGRADAÇÃO E POLUIÇÃO AMBIENTAL

Palestra 1 - Valores de referência de qualidade para metais pesados nos solos do Paraná (Vander de Freitas Melo - UFPR)

Palestra 2 - Gerenciamento de áreas contaminadas: aspectos técnicos e legais (Nayara Silva Menezes - IAT)

Trabalho oral 1 - Estabelecimento do limite crítico ambiental de fósforo: uma proposta utilizando a razão de distribuição do fósforo no solo (Raphael Anzalone - UFPR-PGCISOLO)

Trabalho oral 2 - Distribuição e acúmulo de glifosato e AMPA em diferentes matrizes ambientais de bacias hidrográficas agrícolas no Paraná, Brasil (Gustavo Ferreira Coelho - UFPR Campus Jandaia do Sul)

Debatedora: Juliane Maria Bergamin Bocardi (UTFPR)

Moderadora: Bruna Ramalho (UTP)

SEMINÁRIO 3 – SOLOS URBANOS E SEGURANÇA ALIMENTAR

Palestra 1 - Soluções baseadas na natureza para a redução de riscos hidrológicos e geotécnicos em áreas urbanas (Roberta Boszczowski - UFPR)

Palestra 2 - Agricultura urbana e sustentabilidade alimentar (Mariana Grassi Noya - PUC-PR)

Trabalho oral 1 - Microplásticos em solos sob diferentes usos e ocupação na planície de inundação do alto Iguaçu (Maria Eduarda Paulino de Almeida - UFPR)

Trabalho oral 2 - Levantamento socioeconômico de propriedades rurais em transição do sistema convencional de plantio de hortaliças para o sistema plantio direto de hortaliças (Josiane Burkner dos Santos - IDR-PR)

Debatedora: Fabiane Machado Vezzani (UFRGS)

Moderadora: Helayne Aparecida Maieves (UFPR)

16:30-17:00 – COFFEE-BREAK E VISITAÇÃO AOS ESTANDES

17:00-18:00 – SESSÃO DE PÔSTERES I

DIA 14/05/2025 – QUARTA-FEIRA

08:00-10:30 – EIXO TEMÁTICO II – NOVAS TECNOLOGIAS NA CIÊNCIA DO SOLO

SEMINÁRIO 4 – NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIDADE DO SOLO E FERTILIZANTES

Palestra 1 - Tecnologias em fertilizantes e corretivos: o que de fato funciona? - Sandra Mara Vieira Fontana (FAPA)

Palestra 2 - Perspectivas na diagnose do estado nutricional das plantas - Danilo Eduardo Rozane (UNESP)

Trabalho oral 1 - Atributos químicos do solo relacionados com a produtividade de soja por modelagem Fuzzy - Vitor Hugo Outeiro (UNICENTRO)

Trabalho oral 2 - Explorando estratégias de fertilização potássica na sucessão soja-milho segunda safra em um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto no Brasil - Eduardo Henrique Brosso dos Santos (UEM)

Debatedor: Marcelo Augusto Batista (UEM)

Moderadora: Leticia de Pierri (PUC-PR)

SEMINÁRIO 5 - NOVAS TECNOLOGIAS EM BIOLOGIA DO SOLO

Palestra 1 - Microbioma do solo como ferramenta para decisões agronômicas: aplicações da metagenômica - Vania Carla Silva Pankeivicz (GoGenetic)

Palestra 2 - Fauna do solo: cenário atual, desafios e perspectivas - Dinéia Tessaro (UTFPR)

Trabalho oral 1 - Avaliação temporal do efeito do terraceamento agrícola nas proteínas do solo relacionadas à glomalina - Kauane Victória Szemocoviaki (UEPG)

Trabalho oral 2 - Economia gerada pela inoculação de rizóbios em cultivares de feijão em solos sob plantio direto - Diva de Souza Andrade (IDR-PR)

Debatedor: Andre Luiz Martinez de Oliveira (UEL)

Moderadora: Glaciela Kaschuk (UFPR)

SEMINÁRIO 6 - NOVAS TECNOLOGIAS EM FÍSICA DO SOLO

Palestra 1 - Imagens de microtomografia de raios X de alta resolução em física do solo - Luiz Fernando Pires (UEPG)

Palestra 2 - Avanços do uso de métodos visuais para a avaliação da qualidade física do solo - Rachel Muylaert Locks Guimarães (UTFPR)

Trabalho oral 1 - Perdas de carbono orgânico nos sedimentos erodidos em diferentes manejos agrícolas - Heverton Fernando Melo (UEPG)

Trabalho oral 2 - Funções de pedotrasferência para estimar densidade do solo e resistência à penetração com base no método Vess em um solo argiloso - Esmailson Moreira dos Santos (UTFPR)

Debatedor: Osvaldo Guedes Filho (UFPR Campus Jandaia do Sul)

Moderador: André Carlos Auler (UFPR)

SEMINÁRIO 7 - NOVAS TECNOLOGIAS EM LEVANTAMENTO DE SOLOS E PEDOMETRIA

Palestra 1 - Novas tecnologias em levantamento de solos e pedometria - Nádia Mariane Mucha (UTFPR)

Palestra 2 - Geotecnologias aplicadas à análise e gestão ambiental - Ericson Hideki Hayakawa (UNIOESTE)

Trabalho oral 1 - Índice de vegetação NGRDI para redução do efeito do solo na caracterização do desenvolvimento do milho - Ricardo Kwiatkowski Silva (UEPG)

Trabalho oral 2 - Análises preliminares para o uso do NIR portátil em análises de solo - Tiago Rui Gois (UTFPR)

Debatedora: Giovana Clarice Poggere (UTFPR)

Moderador: Jairo Calderari de Oliveira Júnior (UFPR)

10:30-11:00 – COFFEE-BREAK E VISITAÇÃO AOS ESTANDES

11:00-12:00 – SESSÃO DE PÔSTERES II

14:00-16:30 – EIXO TEMÁTICO 3 – SOLOS E PRODUÇÃO E QUALIDADE DE ÁGUA

SEMINÁRIO 8 – CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Palestra 1 - Resultados da Rede Agropesquisa - Cristiano Pott (UNICENTRO)

Palestra 2 - Ações estratégicas para estradas rurais sustentáveis - Richard Golba (IDR-PR)

Trabalho oral 1 - Respostas hidrológicas frente à eventos de chuva de alta magnitude na bacia hidrográfica da UTFPR campus Dois Vizinhos - André Pellegrini (UTFPR)

Trabalho oral 2 - Análise do escoamento superficial e determinação da curva número em microbacia hidrográfica rural sob plantio direto em Ponta Grossa - PR - Eduardo Augusto Agnellos Barbosa (UEPG)

Debatedora: Graziela Moraes de Cesare Barbosa (IDR-PR)

Moderadora: Karina Maria Vieira Cavalieri-Polizelli (UFPR)

SEMINÁRIO 9 - MANEJO DOS SOLOS FLORESTAIS

Palestra 1 - Manejo florestal e recursos hídricos: lições das microbacias experimentais - Aline Aparecida Ludvichak (KLABIN)

Palestra 2 - Oportunidades e desafios do uso de resíduos florestais - Marcia Toffani Simões Soares (EMBRAPA Florestas)

Trabalho oral 1 - Impactos do manejo dos resíduos da colheita de *Pinus taeda* L. Na emissão de gases de efeito estufa - Laura Cristiane Nascimento de Freitas (UFPR-PGCISOLO)

Trabalho oral 2 - A integração floresta-pecuária como estratégia para a sustentabilidade do solo - Vanessa Silva Romanoski (UFPR-PGCISOLO)

Debatedora: Kátia Cylene Lombardi (UNICENTRO)

Moderador: Renato Marques (UFPR)

SEMINÁRIO 10 - GOVERNANÇA COMO UM FATOR PROMOTOR DE SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA

Palestra 1 - Governança na conservação de solos e água no estado do Paraná - Cleverson Vitorio Andreolli (CEA Consultoria)

Palestra 2 - Legislação estadual de conservação de solos: uma reflexão - Luiz Renato Barbosa (ADAPAR)

Palestra 3 - A hidropedologia como base para a resiliência climática na agricultura: subsídio para a governança em conservação de solos, água e biodiversidade (Hudson Carlos Lissoni Leonardo - ITAIPU BINACIONAL)

Debatedor: Oromar João Bertol (NEPAR-SBCS)

Moderador: Bruno Vizioli (FAEP)

16:30-17:00 – COFFEE-BREAK E VISITAÇÃO AOS ESTANDES

17:00-18:00 – ASSEMBLEIA GERAL DO NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ DA SBCS

DIA 15/05/2025 – QUINTA-FEIRA

07:30-18:30 – EXCURSÕES TÉCNICAS

Excursão Pedológica: Descrição e classificação de perfis de solos – Marcelo Ricardo de Lima (UFPR)

Excursão Técnica: Produção de corretivos de acidez e fertilizantes minerais - Antônio Carlos Vargas Motta, Evelyn Joslin Mendes (UFPR)

08:00-17:30 – MINICURSOS

Minicurso: Ferramentas para obtenção e modelagem de dados - Nádia Mariane Mucha (UTFPR)

Minicurso: Interpretação de análise de solo e recomendação de adubação - Luiz Antônio Zanão Júnior (IDR-PR) e Volnei Pauletti (UFPR)

Minicurso: Manejo do solo e da água sob intensas variabilidades e em cenários futuros de mudanças climáticas - Camila Bertoletti Carpenedo e Marco Aurélio de Mello Machado (UFPR)

Minicurso: Metodologias para caracterização mineralógica de solos - Daniel Hanke e Maria Aparecida de Carvalho Santos (UFPR)

Minicurso: Microplásticos em solos agrícolas - Claudia Gemba Tejada (SENAI), Fernanda Midori de Oliveira e Eloana Janice Bonfleur (UFPR)

Minicurso: Minimização da compactação do solo: tecnologias avançadas de pneus agrícolas para aumentar produtividade e sustentabilidade - Eduardo Alves Gracietti, Eduardo Affonso Jung e Samir Paulo Jasper (UFPR)

Minicurso: Práticas essenciais de microbiologia do solo para ciências agrárias - Alexandre Bertoldo da Silva, Caroline Matos de Lima, Caroline Rusch Schulze, Glaciela Kaschuk, Heila Silva de Araújo, Heloisa da Silva Baldinotti, Leonardo Gomes Duran da Silva, Murilo Francisco Traveçoli Rossetim, Rafael Hennel Tulio, Yanka Rocha Kondo (UFPR)

Minicurso: Procedimentos metodológicos de análise de água - Ana Paula Marés Mikosik (UNINTER), Fabiana Gavelaki, Gisele Silva de Santana e Luciane Lemos do Prado (UFPR)

Minicurso: Produção de alimentos em ambientes urbanos: hortas verticais e telhados verdes e o uso eficiente de recursos - João Paulo Roberto (ACER HAUS), Marcos Rosa (PMC) e Dalyana Mayer Nogaroli.

Minicurso: Saúde do solo: indicadores e técnicas de avaliação - Felipe Bonini da Luz (UFPR)

Minicurso: Séries temporais e produtos do mapbiomas para o monitoramento dos recursos naturais: da teoria à prática - Taciara Zborowski Horst (UTFPR)

Minicurso: Técnicas de monitoramento hidrossedimentológico - Cristiano André Pott e Miguel David Fuentes-Guevara (UNICENTRO)

SUMÁRIO

TRABALHOS APRESENTADOS NAS SESSÕES ORAIS 1

CARBONO NO SOLO E RENDIMENTO DA SOJA APÓS 37 ANOS DE SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO COM USO DE PLANTAS DE COBERTURA NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ 2

DISTRIBUIÇÃO E ACÚMULO DE GLIFOSATO E AMPA EM DIFERENTES MATRIZES AMBIENTAIS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS AGRÍCOLAS NO PARANÁ, BRASIL 7

ESTABELECIMENTO DO LIMITE CRÍTICO AMBIENTAL DE FÓSFORO: UMA PROPOSTA UTILIZANDO A RAZÃO DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO NO SOLO 11

MICROPLÁSTICOS EM SOLOS SOB DIFERENTES USOS E OCUPAÇÃO NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO IGUAÇU 15

LEVANTAMENTO SOCIOECONÔMICO DE PROPRIEDADES RURAIS EM TRANSIÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL DE PLANTIO DE HORTALIÇAS PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS 19

EXPLORANDO ESTRATÉGIAS DE FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA NA SUCESSÃO SOJA-MILHO SEGUNDA SAFRA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB PLANTIO DIRETO NO PARANÁ 23

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO RELACIONADOS COM A PRODUTIVIDADE DE SOJA POR MODELAGEM *FUZZY* 27

ECONOMIA GERADA PELA INOCULAÇÃO DE RIZÓBIOS EM CULTIVARES DE FEIJÃO EM SOLOS SOB PLANTIO DIRETO 31

AVALIAÇÃO TEMPORAL DO EFEITO DO TERRACEAMENTO AGRÍCOLA NAS PROTEÍNAS DO SOLO RELACIONADAS À GLOMALINA 35

FUNÇÕES DE PEDOTRASFERÊNCIA PARA ESTIMAR DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO COM BASE NO MÉTODO *VESS* EM UM SOLO ARGILOSO 39

PERDAS DE CARBONO ORGÂNICO NOS SEDIMENTOS ERODIDOS EM DIFERENTES MANEJOS AGRÍCOLAS 43

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NGRDI PARA REDUÇÃO DO EFEITO DO SOLO NA CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO MILHO 47

ANÁLISES PRELIMINARES PARA O USO DO NIR PORTÁTIL EM ANÁLISES DE SOLO 51

ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DETERMINAÇÃO DA CURVA NÚMERO EM MICROBACIA HIDROGRÁFICA RURAL SOB PLANTIO DIRETO EM PONTA GROSSA - PR 55

RESPOSTAS HIDROLÓGICAS FRENTE À EVENTOS DE CHUVA DE ALTA MAGNITUDE NA BACIA HIDROGRÁFICA DA UTFPR *campus* DOIS VIZINHOS 59

A INTEGRAÇÃO FLORESTA-PECUÁRIA COMO ESTRATÉGIA PARA A SUSTENTABILIDADE DO SOLO 63

IMPACTOS DO MANEJO DOS RESÍDUOS DA COLHEITA DE *Pinus taeda* L. NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA 68

TRABALHOS APRESENTADOS NA SESSÃO DE PÔSTERES I 74

DETERMINAÇÃO DA FAUNA EPIEDÁFICA ASSOCIADA A DIFERENTES USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO: AGROFLORESTA, PASTAGEM E CULTIVO DE MILHO 73

EFEITO DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS SOBRE A FAUNA EPIEDÁFICA EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO 77

FAUNA EDÁFICA E ATIVIDADE BIOLÓGICA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO ASSOCIADO A PLANTAS DE COBERTURA E MECANISMOS DE DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO 81

BIODIVERSIDADE DA FAUNA EDÁFICA EM SISTEMA DE SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS ASSOCIADOS AO USO DE PLANTAS DE COBERTURA 85

ASSOCIAÇÃO DE COLEÓPTEROS EDÁFICOS EM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES FONTES DE NUTRIENTES ORGÂNICOS E MINERAIS 89

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM ÁREA DE SPD COM E SEM TERRACEMENTO 93

IMPACTO DOS TERRAÇOS NA DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA EM SOLO ARENOSO 97

IMPACTO DOS TERRAÇOS NA RESPIRAÇÃO BASAL E QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO 101

RESPIRAÇÃO E BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM ÁREA CULTIVADA COM CANA-DE-AÇÚCAR 105

BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA EM ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO 109

BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM ÁREA AGRÍCOLA DA REGIÃO NORTE DO PARANÁ SOB TERRACEAMENTO EM DIFERENTES PERÍODOS SAZONAIS 113

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO 117

FERTILIDADE E ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO COM APLICAÇÃO DE DEJETOS ANIMAIS EM UNIDADES RURAIS DA BACIA DO RIO OCOÍ 121

RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO (*Eucalyptus grandis*) ADUBADO COM LODO DE ESGOTO TRATADO 125

CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM MAIS DE 25 ANOS DE IMPLEMENTAÇÃO NA REGIÃO SUL DO BRASIL. 130

ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO CERRADO 134

SISTEMA AGROFLORESTAL BIODIVERSO, MANEJO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL DO SOLO NO LITORAL PARANAENSE 138

EFEITO DO CONSÓRCIO DE FORRAGEIRAS SOB ADUBAÇÃO COM LODO DE ESGOTO TRATADO NA RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO 142

CARBONO DA BIOMASSA E RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL 146

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE TERRACEAMENTO SOBRE A ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR 150

ATRIBUTOS MICROBIANOS DO SOLO EM ÁREA CULTIVADA COM CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM TERRAÇOS 154

QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA E RESPIRAÇÃO BASAL EM ROTAÇÕES DE CULTURAS SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NOS CAMPOS GERAIS-PR..... 158

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO AFETADA PELO USO DOS DEJETOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO MILHO..... 162

DETERMINAÇÃO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM DIFERENTES ROTAÇÕES DE CULTURA DE ENZIMAS DO SOLO..... 166

VARIAÇÃO TEMPORAL DA ATIVIDADE DA ENZIMA ARILSULFATASE EM ÁREAS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO E TERRACEAMENTO AGRÍCOLA..... 170

EFEITO DO USO DE CAMA DE FRANGO EM LONGO PRAZO NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA SOJA..... 174

CONSTANTE DE MICHAELIS-MENTEN (Km) DA ATIVIDADE DE □-GLICOSIDASE EM UM ESPODOSSOLO DO SUL DO BRASIL..... 178

A MATRIZ DO SOLO AFETA A DETERMINAÇÃO DO P-NITROFENOL E A ESTIMATIVA DAS ATIVIDADES DE □-GLICOSIDASE, ARILSULFATASE E FOSFATASE ÁCIDA EM SOLOS SUBTROPICAIS. 183

AVALIAÇÃO DOS FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES (FMA) E DA GLOMALINA EM UM SOLO AGRÍCOLA COM E SEM TERRAÇOS 187

O TERRACEAMENTO AFETA A ABUNDÂNCIA DE ESPOROS DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO SOLO? 191

QUALIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DAS BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E ROTAÇÃO DE CULTURAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO 195

BIOINDICADORES DO SOLO EM FUNÇÃO DO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E DA INOCULAÇÃO COM *Azospirillum brasilense* 200

ATIVIDADE MICROBIANA DE SOLO CULTIVADO COM SOJA SOB APLICAÇÃO FOLIAR DE EXTRATO DE ALGAS..... 205

ISOLAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL EM ECOSSISTEMAS AGRÍCOLAS DE FAZENDA RIO GRANDE, PR 209

POTENCIAL DE ISOLADOS MICROBIANOS INOCULADOS EM EUCALIPTO CONTRIBUIR NA NUTRIÇÃO DE FOSFATO 213

EFEITO DE CONSÓRCIOS MICROBIANOS MULTIFUNCIONAIS NO CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO 217

RESPOSTA DAS ERVILHAS FORRAGEIRAS E DE GRÃO A INOCULAÇÃO COM RHIZOBIUM ASSOCIADA AO TRATAMENTO DE SEMENTES COM FUNGICIDAS 222

ACÚMULO DE N-UREIDOS E FOTOSSÍNTESE EM CULTIVARES DE DIFERENTES CICLOS INOCULADAS COM *Rhizobium tropici* CIAT 899 OU FERTILIZADAS COM N-MINERAL..... 226

SHELF LIFE DE PRODUTOS BIOLÓGICOS AGRÍCOLAS POR CONTAGEM CELULAR 231

COLONIZAÇÃO RADICULAR DE MILHO (*ZEA MAYS*) PELAS BACTÉRIAS *AZOSPIRILLUM* SPP. E *BACILLUS* SPP: MÉTODO DE VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA INOCULAÇÃO..... 235

FLUXO DE METANO DE DIFERENTES FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO..... 239

FERTILIZANTES NITROGENADOS E EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO NA CULTURA DO MILHO.... 243

EMISSÃO ACUMULADA DE ÓXIDO NITROSO DE DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO EM DOIS ANOS DE CULTIVO DE MILHO 247

FONTES NITROGENADAS E ADITIVOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA PARA MITIGAR ÓXIDO NITROSO EM CULTIVO DE MILHO 251

INFLUÊNCIA DE FONTES DE NITROGÊNIO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO 255

PERDA DE AMÔNIA VOLATILIZADA DE DIFERENTES FERTILIZANTES NITROGENADOS NA CULTURA DO TRIGO 259

CALAGEM E FERTILIZANTES NITROGENADOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA: UM ESTUDO DAS PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM CONDIÇÕES SUBTROPICAIS SOB PLANTIO DIRETO 263

UM FOSFATO NATURAL DE ROCHA PODE SER UM INIBIDOR NATURAL DA MINERALIZAÇÃO/NITRIFICAÇÃO DO NITROGÊNIO DE UM ADUBO ORGÂNICO? 267

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM RESPOSTA À ROCHAGEM ASSOCIADA À ROTAÇÃO DE CULTURAS 271

EFEITO DE MANEJOS DE SOLO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA COMUNIDADE DE PLANTAS DANINHAS EM CULTIVO DE MILHO ORGÂNICO 275

EVOLUÇÃO TEMPORAL DE INDICADORES FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA CONSERVACIONISTA COM PLANTAS DE COBERTURA E TERRAÇO 279

IMPACTO DO TERRACEAMENTO AGRÍCOLA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO 283

PROPRIEDADES FÍSICAS DE LATOSSOLO COM DIFERENTES ADUBAÇÕES 288

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CEBOLA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO 293

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM ÁREAS COM E SEM TERRAÇOS 297

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO SUBMETIDO À DIFERENTES ESTRATÉGIAS CONSERVACIONISTAS 301

SULCAMENTO OCASIONAL COM HASTE SULCADORA DA SEMEADORA ALTERA AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO 305

VARIABILIDADE TEMPORAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO APÓS CULTIVO DE INVERNO EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE SOLO 309

INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO 313

QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM PASTAGENS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INTENSIFICAÇÃO E INTEGRAÇÃO 318

ANÁLISE TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO SOB SISTEMAS DE PREPARO A LONGO PRAZO 322

DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA 326

DENSIDADE E POROSIDADE COMO INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DA ESTRUTURA DO SOLO SOB MANEJO DE PASTAGEM E MATA NATIVA 330

MICROPLÁSTICOS EM CAMBISSOLO HÚMICO: ALTERAÇÕES NA DENSIDADE DO SOLO E NA DISTRIBUIÇÃO DE POROS 334

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM ÁREAS COM E SEM TERRACEAMENTO NO NOROESTE DO PARANÁ 338

RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO EM DIFERENTES GRAUS DE COMPACTAÇÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO 342

RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO INFLUENCIADA POR SISTEMAS DE CULTIVO EM SEMEADURA DIRETA ORGÂNICA 346

USO DE PLANTAS DE COBERTURA E ESCARIFICAÇÃO NA REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO 350

VESS E CURVA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO: INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO 355

COMPACTAÇÃO DE SOLO E ADUBAÇÃO FOSFATADA: EFEITO NO RENDIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO FEIJÃO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO 358

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO AFETADA PELA COMPACTAÇÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO 362

EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA SOBRE A PRODUDITIVIDADE E NUTRIÇÃO DE AZEVÉM CULTIVADO EM PLANTIO DIRETO SOB GRAUS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO 366

LIMITES DE COMPACTAÇÃO PARA A CULTURA DA CEBOLA 370

NUTRIÇÃO NAS CULTURAS DO MILHO E TRIGO DE FOSFORO E POTÁSSIO SOB PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO FOSFATADA 374

QUALIDADE FÍSICA DO TECNOSOLO E HORIZONTE A SOB ÁREAS DEGRADADAS E COM DIFERENTES GRAUS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO 378

CALCÁRIO ASSOCIADO A GESSO AGRÍCOLA, SOB PLANTIO DIRETO, EM LATOSSOLO, ATUA NA DIMINUIÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO E GEOMÉTRICO EM CAMADAS SUPERFICIAIS (0-5 CM) E SUBSUPERFICIAIS (10-20 CM) 382

AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE COBERTURA 386

DESAGREGAÇÃO POR IMPACTO DE GOTAS: MÉTODO PARA ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS SOB PLANTIO DIRETO NO PARANÁ 390

DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO E CLASSES DE AGREGADOS DE UM SOLO FRANCO ARENOSO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE BENTONITA EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CAFÉ 394

ESTABILIDADE DE AGREGADOS PELO MÉTODO DO IMPACTO DE GOTAS E ATRIBUTOS DE SOLO EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS SOB PLANTIO DIRETO NO PARANÁ 398

ESTABILIDADE DE AGREGADOS POR IMPACTO DE GOTA E AGITAÇÃO VIA ÚMIDA NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ 402

ESTRUTURA DO SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO .. 406

MODELOS DIVERSIFICADOS DE PRODUÇÃO PARA AUMENTAR A AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS DE BASE SOJA NO CERRADO BRASILEIRO 410

BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATO: IMPACTOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE SOB DÉFICT HÍDRICO 414

AVALIAÇÃO DE SUBSTRATOS COM CONDICIONADORES PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS 418

ARGILOMINERAIS POTENCIAIS COMO CONDICIONADORES DE SUBSTRATOS: EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE BRÓCOLIS 426

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM DIFERENTES POSIÇÕES NA PAISAGEM EM ÁREAS COM TERRAÇOS E SEM TERRAÇOS 430

VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES EM LAVOURA SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO 434

INFLUÊNCIA DOS TERRAÇOS NA REDISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM LAVOURAS SOB PLANTIO DIRETO 438

EVENTOS DE CHUVA-VAZÃO EM ÁREAS SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRACEAMENTE AGRÍCOLA 442

A EXPANSÃO AGRÍCOLA NAS DIFERENTES CLASSES TEXTURAIS DO SOLO BRASILEIRO 446

DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO ARGILOSO SOB CONDIÇÃO DE CHUVA SIMULADA 450

ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO-VAZÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM E SEM TERRAÇOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARANÁ 454

TERRACEAMENTO AGRÍCOLA E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ENCOSTAS SOB PLANTIO DIRETO 458

COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA DE PRIMEIRA ORDEM TERRACEADA NO OESTE DO PARANÁ 463

AS FRAÇÕES DE CARBONO NO SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS: EFEITOS DAS PLANTAS DE COBERTURA E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS 467

TEOR DE POX-C NO SOLO DECORRENTES DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS 471

VARIAÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM MICROBACIA AGRÍCOLA DE GUARAPUAVA 475

PERDAS DE NITROGÊNIO E CARBONO VIA ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM 17 ANOS DE APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO 480

ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM CULTIVO DE ERVA-MATE COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA 484

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS ESTOQUES DE CARBONO NO TEMPO EM DIFERENTES SISTEMAS DE ROTAÇÕES DE CULTURA EM LONDRINA-PARANÁ 488

ANÁLISE DOS ESTOQUES DE CARBONO EM DIFERENTES ROTAÇÕES DE CULTURAS NA REGIÃO DE UMUARAMA - PR 492

DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NA CAMADA SUPERFICIAL EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE CASTELO BRANCO/PR 496

DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO NO PERFIL DO SOLO SOB A APLICAÇÃO DE DEJETOS DA SUINOCULTURA E AVICULTURA COMO FERTILIZANTE ORGÂNICO 501

ACÚMULO DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO 505

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ 509

CARBONO DA MATÉRIA ORGÂNICA PARTICULADA E ASSOCIADA A MINERAIS INFLUENCIADOS SOB O MANEJO DE PASTAGEM EM COMPARAÇÃO A MATA NATIVA. 513

ESTOQUE DE CARBONO EM UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB DIFERENTES USOS 517

IMPACTO DO MANEJO DE RESÍDUOS DA COLHEITA E ADUBAÇÃO SOBRE O ACÚMULO DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE *PINUS TAEDA* L. 521

AVALIAÇÃO ESPACIAL DOS DADOS DISPONÍVEIS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NO BIOMA CERRADO 525

DINÂMICA DOS ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NO BIOMA AMAZÔNIA: IMPACTOS DO USO DA TERRA E DA TEXTURA DO SOLO 529

INTERAÇÃO RODADO-SOLO EM UNIDADE FIXA DE ENSAIO DE PNEUS PARA TRANSBORDO .. 533

PESQUISA *ON-FARM* COM SEMEADORAS DE PRECISÃO DA DÉCADA DE 1980, 2000 E 2020 COM SISTEMA SULCADOR DISCO DUPLO PARA IMPLANTAR CULTURA DA SOJA EM LATOSSOLO BRUNO 538

PLANTABILIDADE E PRODUTIVIDADE DA CULTURA SOJA SUBMETIDO A DIFERENTES ALTURAS DE MANEJO DA CULTURA DA AVEIA 542

TRABALHOS APRESENTADOS NAS SESSÃO DE PÔSTERES II 549

AVALIAÇÃO RISCO ECOLÓGICO GLIFOSATO E AMPA EM ÁGUA SUPERFICIAL, SEDIMENTOS E BIOFILMES EPILÍTICOS NA BACIA HIDROGRÁFICAS DO RIO ERVEIRA NO MUNICÍPIO DE DOIS VIZINHOS, PARANÁ 547

A EFICIÊNCIA DOS TERRAÇOS NO CONTROLE DAS PERDAS DE ÁGUA E DE SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS MANEJADAS SOB PLANTIO DIRETO 551

BIOMARCADORES NO SOLO COM APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO 555

A ADUBAÇÃO COM DEJETO LÍQUIDO BOVINO DE LONGO PRAZO AUMENTA OS TEORES DE CU E ZN DO SOLO E DA SOLUÇÃO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO? 559

INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO SOLO NA PERDA DE ÁGUA E SEDIMENTOS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE DEJETO ANIMAL 563

DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS AUMENTA AS PERDAS DE NUTRIENTES DO SOLO POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL 567

DEJETOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE COMO ESTRATÉGIA PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FERTILIZANTES MINERAIS NA PRODUÇÃO DE MILHO 571

PRODUTIVIDADE DE SOJA SOB A APLICAÇÃO DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS (DLS) 575

PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO SOB EFEITO RESIDUAL DE ADUBAÇÃO COM DEJETOS ANIMAIS E FERTILIZANTE MINERAL NA LINHA E A LANÇO 579

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA SOB ADUBAÇÃO MINERAL NA LINHA, A LANÇO E COM DIFERENTES DEJETOS DE ANIMAIS 583

PERDAS DE ÁGUA, SEDIMENTOS E FÓSFORO VIA ESCOAMENTO SUPERFICIALL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM 17 ANOS DE APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO 587

CAMA DE FRANGO NA PRODUTIVIDADE DA FORRAGEM DE AZEVÉM ANUAL (*Lolium multiflorum* Lam.)..... 591
DOSES DE CAMA DE FRANGO NA CULTURA DA SOJA EM CANOINHAS - SC..... 595
FONTES DE ADUBAÇÃO NA CULTURA DA SOJA EM CANOINHAS - SC 599
CTC DO SOLO APÓS O USO DE PÓ DE ROCHA E RESÍDUOS ANIMAIS NO CULTIVO DO MILHO SEGUNDA SAFRA 603
CTC RADICULAR DE SOJA E MILHO SOB MANEJOS DE ACIDEZ DO SOLO..... 607
DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO APÓS O USO DE PÓ DE ROCHA E RESÍDUOS ANIMAIS..... 611
RESPOSTA DA SOJA À ADUBAÇÃO COM COMPOSTO ORGÂNICO ASSOCIADO A ADUBAÇÃO MINERAL..... 615
EFEITO DE DIFERENTES MANEJOS DE ADUBAÇÃO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO 619
PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO ORGÂNICO COMPARATIVO ENTRE OS ANOS DE 2020 E 2021: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE BIOMASSA 623
PLANTAS DE COBERTURA: UM CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE..... 627
PÓ DE ROCHA BASÁLTICA ASSOCIADO A PLANTAS DE COBERTURA E CAMA DE FRANGO SOBRE O TEOR DE P NO SOLO 631
PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE PLANTAS DE COBERTURA SOB DOSES DE N E GESSO..... 635
RENDIMENTO DE MATÉRIA SECA DO MILHO SOB EFEITO DE PLANTAS DE COBERTURA, DOSES DE N E GESSO 638
PRODUTIVIDADE DA CENOURA APÓS DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS..... 641
PRODUTIVIDADE DA ERVILHA APÓS DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS..... 645
USO DE PLANTAS DE COBERTURA NO MANEJO CONSERVACIONISTA PARA O CULTIVO DE HORTALIÇAS 649
ADUBAÇÃO RESIDUAL E PLANTAS DE COBERTURA: IMPACTO NA PRODUTIVIDADE DE SOJA APÓS OITO ANOS SEM APLICAÇÃO DE FÓSFORO 653
DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DE SOJA EM CONSÓRCIO E POLICULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA..... 657
SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS NOS ANOS INICIAIS DE IMPLANTAÇÃO DO SOB MANEJO AGROECOLÓGICO..... 661
MANEJOS INTEGRADOS DE SOLO E DE ADUBO ORGÂNICO PARA A PRODUÇÃO DE BATATA ORGÂNICA 665
CONCENTRAÇÕES DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE CULTIVARES DE BATATA SOB APLICAÇÃO DE CURCUMINA E QUITOSANA EM SISTEMA AEROPÔNICO 669
CURCUMINA E QUITOSANA VIA RADICULAR NA NUTRIÇÃO DE CULTIVARES DE BATATA EM SISTEMA AEROPÔNICO 673
EFICIÊNCIA DE FORMULADOS PARA FERTIRRIGAÇÃO EM CULTIVO DE SOLANÁCEAS 678

DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NA COBERTURA DAS ENTRELINHAS DO VINHEDO: MIX DE PLANTAS DE COBERTURA EM SISTEMA ORGÂNICO E PLANTAS VOLUNTÁRIAS EM SISTEMA CONVENCIONAL 683

AVEIA VERSUS PLANTAS VOLUNTÁRIAS NA ENTRELINHA DO VINHEDO: TEORES DE NUTRIENTES NA COBERTURA VEGETAL 687

NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUTIVIDADE DE VIDEIRA CV. 'SANGIOVESE' SOB SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL..... 691

ATRIBUTOS DO SOLO EM POMAR DE MACIEIRA SOB SISTEMA ORGÂNICO DE PRODUÇÃO NO SUL DO BRASIL..... 696

UM ESTUDO DE CAMPO DE 10 ANOS SOBRE AS MUDANÇAS NAS FRAÇÕES DE FÓSFORO NO SOLO DE VINHEDOS NO SUL DO BRASIL 700

ALTERAÇÕES EM FORMAS DE FÓSFORO NA RIZOSFERA DE SOJA CULTIVADA EM SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS 704

OS COMPOSTOS BIOATIVOS DA ERVA-MATE SÃO INFLUENCIADOS PELA ADUBAÇÃO NITROGENADA? 708

PRODUÇÃO DE ERVA-MATE SUBMETIDA À ADUBAÇÃO NITROGENADA 712

ADUBAÇÃO NITROGENADA E O PLANTIO ADENSADO AFETAM A PRODUÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS NA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) 716

ANÁLISE TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE ERVA-MATE NA REGIÃO GEOGRÁFICA IMEDIATA DE ERECHIM, SUL DO BRASIL..... 720

NÍVEIS DE SOMBREAMENTO NO CULTIVO DA ERVA-MATE E SUA INFLUÊNCIA NA RELAÇÃO C/N DO SOLO..... 724

PRODUÇÃO DE MASSA FRESCA E SECA DE COBERTURAS VEGETAIS EM SISTEMA DE CULTIVO DE ERVA-MATE 728

NÍVEIS DE SOMBREAMENTO ALTERAM O ESTOQUE DE CARBONO EM PROFUNDIDADE NO SOLO? 732

ACÚMULO DE FÓSFORO EM ERVA-MATE SOB EFEITO DA INOCULAÇÃO MICORRÍZICA E ADUBAÇÃO FOSFATADA 736

CRESCIMENTO INICIAL DE ERVA-MATE EM RESPOSTA À INOCULAÇÃO MICORRÍZICA E DOSES DE FÓSFORO..... 740

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: IMPACTO DA APLICAÇÃO ANTECIPADA DE NITROGÊNIO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO 745

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: IMPACTOS DA APLICAÇÃO ANTECIPADA DE FÓSFORO NA CULTURA DA AVEIA PARA A SOJA EM SUCESSÃO 749

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: IMPACTOS DA APLICAÇÃO ANTECIPADA DE POTÁSSIO NA CULTURA DA AVEIA PARA A SOJA EM SUCESSÃO 753

ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA NA CULTURA ANTERIOR AUMENTA A PRODUTIVIDADE DA SOJA..... 757

AUMENTO DO CRESCIMENTO VEGETATIVO DA SOJA COM A ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA DURANTE A CULTURA DE INVERNO 761

MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA CULTURA DA SOJA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO . 765

PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE CENTEIO SOB NÍVEIS DE NITROGÊNIO EM COBERTURA..... 769
ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA NA CULTURA DA MANDIOCA EM SOLO ARENOSO: NUTRIÇÃO DA PLANTA..... 773
ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NA QUALIDADE FLORAL DE STATICE (*Limonium sinuatum*) 777
DOSES DE FÓSFORO NO NÚMERO DE PERFILHOS E HASTES FLORAIS DE STATICE (*Limonium sinuatum*) 781
ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NA PRODUTIVIDADE DE AZEVÉM (*L. multiflorium Lam)* .. 785
COMBINAÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO E AMINOÁCIDO PARA AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE MILHO (*Zea mays*) 789
ADITIVOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA E FONTES NITROGENADAS: IMPLICAÇÕES NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO NO PRIMEIRO PLANALTO PARANAENSE..... 793
AVALIAÇAO DE PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO À ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO 797
CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES QUÍMICAS E OS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO..... 800
CALCÁRIO ASSOCIADO AO GESSO EM PLANTIO DIRETO AUMENTA A PRODUTIVIDADE NA ROTAÇÃO MILHO, TRIGO E SOJA..... 804
CALCÁRIO DE CONCHAS MARINHAS NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA ... 808
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO USO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NO BRASIL..... 811
CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO COMBINADO COM USO DE GESSO AGRÍCOLA 815
FOSFATOS NATURAIS DE ALTA REATIVIDADE NO CRESCIMENTO DA CULTURA DA AVEIA (Avena strigosa) EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO..... 819
PERDAS DE POTÁSSIO EM BACIA HIDROGRÁFICA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO: IMPACTOS ECONÔMICOS E ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO 823
O EFEITO DO TERRACEAMENTO NA ACIDEZ DO SOLO 828
EFEITO DO TERRACEAMENTO AGRÍCOLA NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLO ARENOSO..... 832
EFEITO DO TERRACEAMENTO NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO PERFIL DE SOLO..... 836
EFEITO DO TERRACEAMENTO NO ACÚMULO DE POTÁSSIO EM LATOSSOLO BRUNO 840
PERDAS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL DE GUARAPUAVA, NO CENTRO-SUL PARANAENSE 844
PERDAS DE SOLO POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM LAVOURA SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRACEAMENTO 849
PERFIL DE CÁLCIO NO SOLO: ANÁLISE COMPARATIVA EM DOIS SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO MUNICÍPIO DE CIANORTE/PR..... 853
INFLUÊNCIA DO TERRACEAMENTO NA DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO POR PROFUNDIDADE EM SOLO ARENOSO..... 858

INFLUÊNCIA DO TERRACEAMENTO NA RETENÇÃO DE POTÁSSIO NO SOLO 862

EFEITO DO TERRAÇO NOS LAÇOS DA HISTERESE ENTRE A VAZÃO E A CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM ÁREA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO..... 866

PARÂMETROS FITOMÉTRICOS E PRODUTIVOS DA SOJA EM FUNÇÃO DAS ADUBAÇÕES MINERAL E ORGANOMINERAL ASSOCIADA A UM BIOESTIMULADOR..... 870

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA RESIDUAL DE CULTIVARES DE TRIGO, SUBMETIDOS A DOSES DE NITROGÊNIO..... 874

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO: NUTRIÇÃO DA SOJA, SAFRA 2023/2024 878

PRODUTIVIDADE ACUMULADA DA SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO SOB PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS..... 882

PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE AVEIA EM SOLO ÁCIDO COM NÍVEL TÓXICO DE ALUMINIO 886

PRODUTIVIDADE DE MILHO COM FONTES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA EM LATOSSOLO MUITO ARGILOSO 889

QUALIDADE DE GRÃOS DE MILHO SUBMETIDOS A APLICAÇÃO FOLIAR DE NITROGÊNIO EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO 893

REMINERALIZADORES EM SOLOS DE TEXTURA ARENOSA E ARGILOSOS 897

SUBPRODUTO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA HEPARINA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DE NITROGÊNIO PARA O SOLO 901

SIMULAÇÃO DE APLICAÇÃO EM TAXA VARIÁVEL DE NITROGÊNIO 905

USO DE CINZAS EM PINUS: ANÁLISE NUTRICIONAL DAS ACÍCULAS 909

TEORES DE MACRONUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DO TRIGO SOB DIFERENTES ADUBAÇÕES 912

VARIABILIDADE ESPACIAL DA SATURAÇÃO POR BASES (V%) EM DOIS SISTEMAS DE MANEJO916

MAPAS TEMÁTICOS DA FERTILIDADE DO SOLO E RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO DE FÓSFORO (P) EM SEBERI (RS) 921

IMPACTO DAS CONDIÇÕES DO SOLO NO MOMENTO DA SEMEADURA NA CULTURA DA SOJA MONITORADA POR IMAGENS AÉREAS OBTIDAS POR RPA 925

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE SOLO SOB PLANTIO FLORESTAL DE EUCALIPTO (*Eucalyptus* spp.) 929

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA PARA PLANEJAMENTO AMBIENTAL E URBANO 933

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA PARA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA EM ESPODOSSOLO DO LITORAL PARANAENSE 937

AVALIAÇÃO DOS DOCENTES SOBRE A EXPOSIÇÃO DIDÁTICA DE SOLOS DO PROGRAMA SOLO NA ESCOLA/UFPR 941

PERCEPÇÕES E CONHECIMENTOS SOBRE O SOLO: UMA ANÁLISE DE ACADÊMICOS DE PEDAGOGIA ANTES E APÓS A INTERVENÇÃO DO PROJETO 'O SOLO NA ESCOLA'..... 945

GUARDIÕES DA RIZOSFERA INTEGRANDO SOLO, SOCIEDADE E ALIMENTO 949

INFRAESTRUTURA E POLÍTICAS DE GESTÃO DE DADOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DO PARANÁ: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA 953

GESTÃO DE DADOS DE SOLO NAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DO MATO GROSSO DO SUL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE IES FEDERAIS E ESTADUAIS 957

IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE SOLO NO REPOSITÓRIO SOILDATA 961

INVENTÁRIO DE ESTUDOS SOBRE O EFEITO DA MUDANÇA DA COBERTURA E USO DA TERRA SOBRE O ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NO BIOMA AMAZÔNIA 965

INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE DADOS DE SOLO EM ÁREAS ÚMIDAS DO ESTADO DO PARANÁ E CONISUL DO MATO GROSSO DO SUL 969

INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE DADOS DE SOLO EM FORMAÇÕES FLORESTAIS DO ESTADO DO PARANÁ E CONISUL DO MATO GROSSO DO SUL 973

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BIOMA AMAZÔNIA E SUA RELAÇÃO COM O TIPO DE SOLO PRESENTE 977

ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DE DADOS DE SOLO DO PANTANAL: UMA ABORDAGEM DE CIÊNCIA ABERTA COM O REPOSITÓRIO SOILDATA 981

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA DO ESTADO DO PARANÁ 985

ATIVIDADES DE EXTENSÃO COM O REPOSITÓRIO SOILDATA NA GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA 989

A ESTRUTURAÇÃO DO MUSEU VIRTUAL DE SOLOS DO NORTE DO PARANÁ - MUVISOLOS 993

BIBLIOMETRIA DA PESQUISA EM SAÚDE DO SOLO NA ÚLTIMA DÉCADA 999

SOIL AND WATER MANAGEMENT PROSPECTS FOR AGRICULTURE IN UKRAINE 999

LISTA DE AUTORES 1014

TRABALHOS APRESENTADOS NAS SESSÕES ORAIS

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CARBONO NO SOLO E RENDIMENTO DA SOJA APÓS 37 ANOS DE SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO COM USO DE PLANTAS DE COBERTURA NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ

Lutécia Beatriz dos Santos Canalli.[1], Janaína Dartora [2], André Luiz Oliveira de Francisco [2], Joice Maria Assmann[2], Ademir Calegari A.[1]

[1]Pesquisador, IDR-Paraná – IAPAR-EMATER (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná); [2]Analista de Ciência e Tecnologia, IDR-Paraná – IAPAR-EMATER (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná); *luteciabsc@hotmail.com

RESUMO

O objetivo foi avaliar carbono do solo (C) e a produtividade da soja após 37 anos de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) associado ao uso de plantas de cobertura. O experimento é conduzido no IDR-Paraná, em Pato Branco-PR. Delineamento: fatorial 12x2 em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 3 repetições. A determinação de C nas camadas: 0,0-0,05;0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m foi realizada via combustão úmida. A produtividade da soja foi avaliada na maturidade fisiológica. O rendimento da soja foi maior em PD (5310 kg ha^{-1}) que em PC (4987 kg ha^{-1}). Quando ervilhaca + aveia ou trigo foi usado, PD rendeu 30,7% e 20,7% (5645 e 6193 kg ha^{-1}) a mais que PC, 4318 e 5131 kg ha^{-1}, respectivamente. PD por 37 anos acumulou 40,8 g kg^{-1} de C na camada superficial contra 28,7 g kg^{-1} no PC. C não diferiu entre as plantas de cobertura.

PALAVRAS-CHAVE: plantio direto; rotação de culturas; matéria orgânica do solo, agricultura regenerativa, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Durante séculos no Brasil a agricultura foi desenvolvida com manejo do solo em plantio convencional, com uso de arado e grade, provocando a degradação do solo, com perda de solo e nutrientes através do processo erosivo, perda da biodiversidade e diminuição do rendimento das culturas. O sistema plantio direto, associado ao uso de plantas de cobertura com alto aporte de biomassa, promove mais rápida recuperação do estoque de carbono (C) e de nitrogênio (N) no solo, quando comparado ao plantio convencional (Tiecher et al., 2020), portanto, é uma eficiente ferramenta para aumentar C e N no solo, e também promove efeitos benéficos sobre a fertilidade do solo através do aumento da ciclagem de nutrientes.

Para obter a máxima eficiência na melhoria da capacidade produtiva de sistemas agrícolas, o uso de plantas de cobertura regionalmente adaptadas é fundamental, as quais podem ser cultivadas solteiras ou em consórcios. Canalli et al. (2020) reportou tempo de meia vida mais curto para o consórcio entre poacea-fabacea quando comparado a poacea solteira, entretanto, destacou que o uso de consórcios de poaceas-fabaceas nas rotações de culturas pode ser uma boa estratégia para produzir biomassa, promover fixação biológica de N e, ao mesmo tempo, diversificar os sistemas de produção e contribuir para o acúmulo de carbono no solo.

Mudanças relativamente rápidas no estoque de carbono orgânico do solo em sistemas intensivos de agricultura regenerativa, com diversidade de plantas de cobertura e alto aporte anual de biomassa, indicam um grande potencial destes sistemas para reverter o processo de degradação do solo e a perda de matéria orgânica (Tivet et al., 2023; Sá et al., 2015).

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de 37 anos de sistemas de manejo do solo, plantio direto e plantio convencional, associado ao uso de plantas de cobertura, solteiras ou em consórcio, sobre o acúmulo de carbono no solo e a produtividade da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento é conduzido na Estação Experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, no município de Pato Branco-PR, desde 1986, cujas coordenadas geográficas são 52^{0}41' W, 26^{0}07' S, situada à 700 m de altitude. O clima da região é do tipo Cfb (Köeppen), subtropical úmido, com precipitação média anual de 2000 mm. O solo é classificado como um Latossolo Vermelho alumino-férrico, muito argiloso (720 g Kg^{-1} de argila), situado em relevo suave ondulado, com pendentes entre 4 a 7% de declividade.

Os tratamentos combinam espécies de plantas de cobertura com dois sistemas de manejo do solo: preparo convencional (PC) com 1 aração + 2 gradagens duas vezes ao ano, e o plantio direto (PD). No verão são cultivados soja e milho de forma alternada em toda a área, ou seja, num verão soja e no outro milho. Em 2021, objetivando atender demandas atuais em relação ao uso de consórcios mais diversificado de plantas de coberturas, foram realizadas algumas modificações nos tratamentos de inverno e também foi inserido um consórcio de plantas de cobertura no outono (mix outono), composto por Milheto (*Pennisetum glaucum*) + Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) + Ervilha forrageira (*Pisum sativum*) + Trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*) + Feijão-guandu (*Cajanus cajan*). Os tratamentos são: mix outono - ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), mix outono - aveia branca cv Esmeralda (*Avena sativa*), mix outono – centeio (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum sativum*,), mix outono - trigo, ervilhaca peluda + aveia branca, mix de outono - ervilhaca peluda + aveia branca, tremoço branco (*Lupinus albus*) + ervilhaca peluda + aveia branca + Triticale (*Tritico secale Wittmack*), mix outono - tremoço branco + ervilhaca peluda + aveia branca + triticale, mix outono – nabo forrageiro + centeio + ervilha forrageira (*Pisum sativum*), pousio (ervas daninhas) e pousio limpo (solo mantido totalmente livre de qualquer vegetação).

O delineamento experimental compõe um fatorial 12x2 distribuídos em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 3 repetições, tendo as espécies de inverno como parcela principal (20 x 12m) e os sistemas de preparo do solo como sub-parcelas (6 x 20m).

A soja (Glycine max) foi semeada em 24/10/2022, com 12 sementes/m e 0,40m entre linhas, as sementes foram inoculadas com Brady rhizobium e foram aplicados 300 kg do fertilizante 00-20-20 N-P-K.

Para avaliar o carbono orgânico do solo foram coletadas três subamostras nas camadas: 0,0-0,05;0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em Out/2022, sendo homogeneizadas para compor uma amostra por subparcela (plantio direto e preparo convencional). A determinação do carbono do solo foi realizada pelo método da combustão úmida (Walkley e Black, 1934).

A produtividade da soja foi avaliada no estádio de maturidade fisiológica, em março de 2023, considerando três linhas de 10 m espaçadas de 0,40 m em cada subparcela (plantio direto e preparo convencional), perfazendo uma área útil de 12 m^2. Os grãos foram pesados e a umidade foi determinada e corrigida conforme o padrão da espécie (13%), sendo a produtividade expressa em kg ha^{-1}.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste F para verificar as diferenças entre os tratamentos, utilizando-se o programa estatístico AgroEstat (Barbosa e Maldonado, 2012). Nos casos significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os parâmetros biológicos, físicos e químicos do solo e as condições climáticas da safra 2022/2023 foram adequados para o desenvolvimento da soja, promovendo maior biodiversidade e permitindo alta produtividade. O rendimento de grãos de soja, colhidos em 2022/2023, foi em média maior

no plantio direto (5310 kg ha^{-1}) em comparação com 4987 kg ha^{-1} no plantio convencional (Tabela 1), embora não significativo. No entanto, em pousio, pousio limpo, mix/trigo e mix/centeio, o rendimento foi maior no PC; em mix/nabo forrageiro + centeio + ervilhaca e mix/ervilhaca peluda, o rendimento nos sistemas PD e PC foi semelhante. Quando ervilhaca peluda + aveia esmeralda ou simplesmente trigo foi usado, os rendimentos do plantio direto foram 30,7% (5645 kg ha^{-1}) e 20,7% (6193 kg ha^{-1}) maiores que do PC, 4318 e 5131 kg ha^{-1}, respectivamente, sendo significativamente diferente somente para Ervilhaca peluda + Aveia esmeralda.

Tabela 1. Produtividade da soja após 37 anos do uso de plantas de cobertura em plantio direto (PD) e em plantio convencional (PC). Pato Branco, Paraná, 2023.

Planta de cobertura	**Produtividade da soja (kg ha^{-1})**			
	PD		**PC**	
Ervilhaca peluda + Aveia Esmeralda	5645	aA	4318	aB
Mix outono**/Ervilhaca peluda	5100	a	4915	a
Mix outono/Tremoço + Ervilhaca + Aveia + Triticale	5447	a	4741	a
Pousio	5243	a	5392	a
Mix outono/Trigo	5154	a	5374	a
Mix outono/Aveia Esmeralda	5576	a	5169	a
Mix outono/Ervilhaca peluda + Aveia Esmeralda	4677	a	4158	a
Mix outono/Centeio	5092	a	5259	a
Mix outono/Nabo + Centeio + Ervilhaca	5256	a	5278	a
Trigo	6193	a	5131	a
Tremoço + Ervilhaca + Aveia + Triticale	5658	a	4921	a
Pousio limpo	4675	a	5189	a
Média (CV manejo do solo = 12,28)	5310	A	4987	A
CV plantas de cobertura	10,8		13,75	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna ou mesma letra maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. **Mix outono: Milheto (*Pennisetum glaucum*) + Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) + Ervilha forrageira (*Pisum sativum*) + Trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*) + Feijão-guandu (*Cajanus cajan*).

A manutenção do plantio direto por 37 anos permitiu o acúmulo de carbono orgânico no solo (COS) de 40,8 g kg^{-1} na camada superficial de 0,05 m de profundidade, em comparação aos 28,7 g kg^{-1} no PC (Figura 1), que recebeu 74 eventos de aração e 128 grades. O conteúdo de COS no PD se aproximou da condição de floresta não perturbada adjacente ao experimento (44,72 g kg^{-1}). Não houve diferença na camada subsuperficial 0,05-010 m, entretanto, em 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m o conteúdo de C foi maior no PC, devido à incorporação de resíduos, que são misturados a 0,0-0,20 m por aração e gradagem. Não há diferença para o carbono do solo entre os tratamentos de plantas de cobertura.

Avaliando o acúmulo de C e N após 26 anos neste mesmo experimento, Tiecher et al. (2020) relataram que, quando associado a culturas de cobertura de inverno, o PD acumulou 0,6 e 0,06 Mg ha^{-1} ano^{-1} a mais de C e N do que o PC com pousio de inverno na camada de solo de 0,00-0,20 m. O plantio direto e o plantio convencional recuperaram 95 e 83%, respectivamente, do estoque de C encontrado na camada de 0,00-0,20 m da floresta nativa adjacente ao experimento.

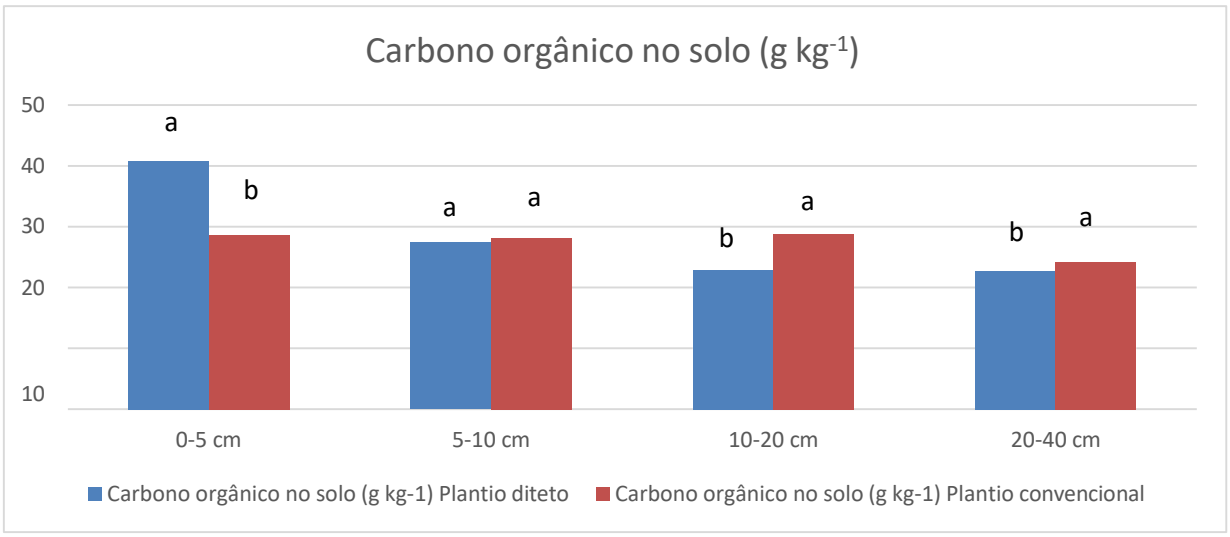


Figura 1. Carbono no solo após 37 anos do uso de plantas de cobertura em plantio direto (PD) e em plantio convencional (PC). Pato Branco, Paraná, 2023. *Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença entre os sistemas de manjo do solo em cada profundidade, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

CONCLUSÕES

Esses resultados mostram a necessidade urgente de eliminar a perturbação do solo (aração e gradagem) e incluir uma diversidade de espécies de plantas de cobertura para que se efetive uma agricultura conservacionista com qualidade. O experimento de longo prazo no sul do Brasil está demonstrando uma alta viabilidade de adoção do sistema plantio direto, associado a diversidade de espécies, para a recuperação do carbono do solo.

AGRADECIMENTOS

Fundação Araucária/SETI/SENAR e Projeto OSCAR-União Europeia pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

BARBOSA JC, MALDONADO JÚNIOR W. AgroEstat - **Sistema para Análises Estatísticas de ensaios agronômicos** [System for statistical Analysis of agronomic trials]. Jaboticabal-SP, Brazil: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista, 2012.

CANALLI, L.B.S.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; MUCHINSKI, A.; FELICINO, E.; PENTEADO, D. Residues Decomposition in Crop Rotations under No-till System. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 63 no.spe: e20190609, 2020. http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-solo-2020190609 ISSN 1678-4324 Online Edition, 2020www.scielo.br/babt

SÁ, J.C.M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL. R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKEI, P.R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J.B.; HARTMAN, D.C.; BERTOLONI, C.G. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degrad Dev**, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015. http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2218.

TIECHER, T.; GUBIANI, E.; SANTANNA, M.A.; VELOSO, M.G.; CALEGARI, A.; CANALLI, L.B.S.; FINCKH, M.R.;

CANER, L.; RHEINHEIMER, D.S. Effect of 26 years of soil tillage systems and winter cover crops on C and N stocks in a Southern Brazilian Oxisol. **Rev Bras Cienc Solo.** v. 44: e0200029**,** 2020.

TIVET, F.; SÁ, J.C.D.M.; LAL, R.; BORSZOWSKEI, P.R.; BRIEDIS, C.; DOS SANTOS, J.B.; SÁ, M.F.M.; HARTMAN,

D.D.C.; EURICH, G.; FARIAS, A.; BOUZINAC, S.; SEGUY, L. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Geoderma** 209-210, p. 214–225, 2013.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. **Soil Science**. Vol. 37, n.1, p. 29-38, 1934.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DISTRIBUIÇÃO E ACÚMULO DE GLIFOSATO E AMPA EM DIFERENTES MATRIZES AMBIENTAIS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS AGRÍCOLAS NO PARANÁ, BRASIL

Gustavo Ferreira Coelho[1*], André Pellegrini[2], Gracieli Fernandes[3], Jéssica Fernandes Kasefer[4], Danilo Rheinheimer dos Santos[5], Virginia Carolina Aparício[6]

[1] Professor e Pesquisador, Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Campus Avançado de Jandaia do Sul. [2] Professor e Pesquisador, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus de Dois Vizinhos. [3,5] Professor(a) e Pesquisador(a), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). [4] Pesquisadora de Pós-doutorado (CNPq). [6] Professora e Pesquisadora, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA Balcarce, Buenos Aires, Argentina. *gustavocoelho@ufpr.br.

RESUMO

O uso intensivo de glifosato na agricultura levanta preocupações sobre sua persistência e impacto ambiental. Este estudo avaliou a distribuição de glifosato (GLY) e seu metabólito AMPA em água, sedimentos e biofilmes epilíticos na bacia hidrográfica do Rio Erveira e sub-bacia do Rio da Trilha, no Paraná. Foram realizadas quatro coletas sazonais entre dezembro de 2022 e dezembro de 2023, analisando-se as concentrações dos compostos por cromatografia líquida ACQUITY UPLC™. Os resultados indicam baixas concentrações na água (<0,1 μg L^{-1}), mas níveis elevados nos sedimentos (até 131,7 μg kg^{-1}) e biofilmes epilíticos (até 524,5 μg kg^{-1}). A maior contaminação ocorreu no Rio Erveira, correlacionada à atividade agrícola (74,36% da área). A análise estatística (PCA e K-means) confirmou variações sazonais e espaciais, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e práticas conservacionistas.

PALAVRAS-CHAVE: agrotóxicos; biofilme epilítico; contaminação; monitoramento ambiental; sedimentos.

INTRODUÇÃO

A expansão da agricultura intensificou o uso de insumos químicos, tornando o Brasil o segundo maior consumidor de agrotóxicos, com 37,7 x 10^3 t aplicadas em 2020 (FAOSTATS, 2022). Dentre os herbicidas, o glifosato é amplamente utilizado, especialmente em cultivos geneticamente modificados, como soja e milho, devido à sua eficácia no controle de plantas daninhas. No entanto, sua aplicação extensiva e recorrente tem gerado preocupações sobre seu comportamento ambiental, uma vez que resíduos do glifosato e de seu metabólito primário, o ácido aminometilfosfônico (AMPA), são detectados em águas superficiais, sedimentos e biofilmes epilíticos (Rheinheimer et al., 2023).

A principal via de transporte desses compostos para corpos hídricos é o escoamento superficial e a erosão, que removem partículas do solo contaminadas com resíduos de herbicidas, especialmente em áreas agrícolas sem práticas conservacionistas adequadas, como terraços e matas ciliares (Didoné et al., 2021). A persistência do glifosato e do AMPA em sedimentos e biofilmes pode aumentar o tempo de exposição dos organismos aquáticos, afetando a qualidade da água e a estrutura ecológica dos ecossistemas. Além disso, a conversão do glifosato em AMPA pode intensificar os impactos ambientais, pois esse metabólito apresenta alta estabilidade e toxicidade potencial.

Diante desse cenário, este estudo busca avaliar a presença, distribuição do glifosato e do AMPA em diferentes matrizes ambientais (água superficial, sedimentos e biofilmes epilíticos) em bacias hidrográficas agrícolas. Parte-se da hipótese de que a aplicação intensiva desse herbicida em áreas próximas a corpos d'água resulta na contaminação das águas superficiais e na acumulação desses compostos nos sedimentos e biofilmes, elevando o risco ecológico e comprometendo a qualidade ambiental das bacias hidrográficas estudadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, Paraná, Brasil, localizada a 510 m de altitude, entre as coordenadas 53°6’1” W e 25°41’55” S.

Foram selecionados 10 pontos de amostragem distribuídos na bacia hidrográfica do Rio Erveira, sendo quatro pontos no canal da sub-bacia de 1ª ordem do Rio da Trilha (1–4), quatro no canal da bacia de 2ª ordem do Rio Erveira (5–8) e dois no Rio Erveira após a confluência com o Rio da Trilha (9–10), cujas coordenadas foram registradas no sistema SIRGAS 2000 – UTM 22S (Figura 1).

Nos locais de amostragem, foram instalados torpedos para coleta e armazenamento de sedimentos, além de gaiolas com rochas basálticas para o desenvolvimento de biofilmes epilíticos. A instalação dos equipamentos ocorreu em 08 de julho de 2022, enquanto as coletas de água superficial, biofilmes epilíticos e sedimentos foram realizadas nos dias 10 de dezembro de 2022, 16 de junho de 2023, 15 de setembro de 2023 e 02 de dezembro de 2023.

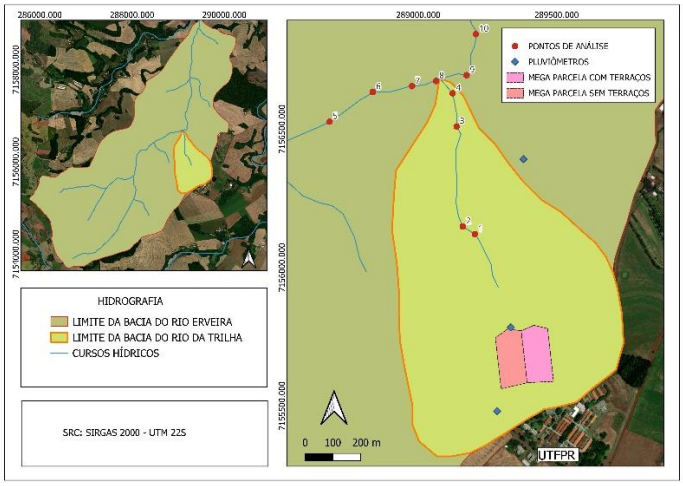


Figura 1. Mapa de Localização da bacia hidrográfica de 2ª ordem do Rio Erveira; e da sub-bacia de 1ª ordem do rio da Trilha com os pontos de coleta georreferenciados.

Para amostragem de sedimentos, foram instalados torpedos em duplicata em cada ponto. As amostras foram coletadas, transportadas ao laboratório em galões de 5 L e sedimentadas por 15 dias, seguidas de secagem a 45 °C e padronização em peneiras de 2 mm. Os biofilmes epilíticos foram coletados a partir de 20 gaiolas de aço galvanizado (70 × 50 × 10 cm), contendo 24 rochas basálticas cada, submersas desde 08 de julho de 2022. A coleta ocorreu através de escovação manual com escovas de cerdas de nylon e 0,5 L de água deionizada, seguida de armazenamento a –80 °C, liofilização a –40 °C e homogeneização. A amostragem de água foi realizada em frascos plásticos de 500 mL, armazenados em caixas térmicas com gelo e transportados ao laboratório para análise de glifosato e AMPA. A quantificação de glifosato e AMPA nas matrizes ocorreu por cromatografia líquida ACQUITY UPLC™, acoplada a um espectrômetro de massa quadrupolar Quattro Premier™ XE (Waters).

A relação entre as concentrações de glifosato e AMPA nas diferentes matrizes ambientais foi analisada por Análise de Componentes Principais (PCA) combinada com K-means clustering. As análises foram conduzidas no software R (versão 2024.04.2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as concentrações de glifosato (GLY) e seu metabólito ácido aminometilfosfônico (AMPA) em água, sedimentos e biofilmes epilíticos nos rios da Trilha e Erveira. De modo geral, as concentrações de GLY na água foram baixas, frequentemente abaixo do limite de quantificação (0,1 µg L^{-1}), sugerindo rápida diluição ou degradação. No entanto, sedimentos e biofilmes apresentaram níveis significativamente mais elevados, especialmente no Rio Erveira (pontos 5 a 9), onde os valores atingiram

131,7 µg kg^{-1} nos sedimentos (ponto 8, jun/23) e 524,5 µg kg^{-1} nos biofilmes (ponto 5, set/23), evidenciando acúmulo persistente.

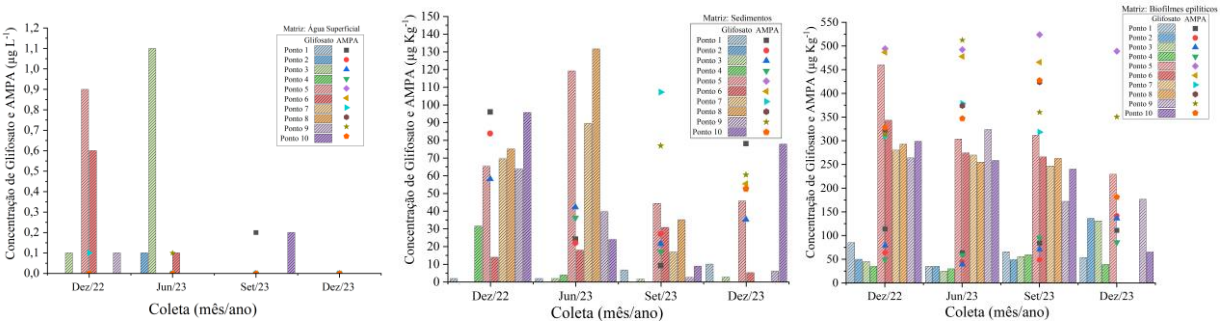


Figura 2. Concentrações de Glifosato (GLY) e ácido aminometilfosfônico (AMPA) detectados nas matrizes: água superficial (µg L^{-1}), sedimentos e biofilmes epilíticos (µg Kg^{-1}) nos pontos de amostragem em cada coleta.

As variações sazonais indicam relação entre a concentração de GLY e AMPA e o período de aplicação do herbicida, com os maiores valores registrados em dezembro e junho, possivelmente associados ao uso agrícola e às chuvas intensas, que favorecem o transporte desses compostos para os corpos hídricos. A contaminação foi mais pronunciada no Rio Erveira em função da área agrícola (74,36%) em comparação ao Rio da Trilha (68,52%), sugerindo uma correlação direta entre intensidade do uso agrícola e acúmulo de herbicidas no meio ambiente.

A Figura 2 confirma a predominância de GLY e AMPA nos sedimentos e biofilmes, reforçando a capacidade dessas matrizes de reter contaminantes devido aos altos coeficientes de adsorção do glifosato e seu metabólito e das estruturas, principalmente molecular dos biofilmes, tornando-os indicares sensíveis da pressão antropogênica (Fernandes et al., 2019). Nos sedimentos, os maiores valores foram registrados no ponto 5 (119,3 µg kg^{-1}, jun/23), enquanto nos biofilmes, o acúmulo foi mais expressivo no ponto 5 (460 µg kg^{-1}, dez/22). No Rio da Trilha, as concentrações foram menores, com destaque para o ponto 4, onde GLY atingiu 31,6 µg kg^{-1} e AMPA 183,8 µg kg^{-1}.

Entre os pontos amostrais, locais como pontos 5 e 6 apresentaram concentrações consistentemente mais elevadas ao longo do ano, enquanto o ponto 2 exibiu níveis baixos ou indetectáveis. Essas variações sugerem diferenças no uso do solo e nas condições ambientais locais, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo das diferentes matrizes ambientais para compreender a dinâmica de poluentes em ecossistemas aquáticos.

A PCA combinada com K-means clustering (Figura 3) identificou padrões na distribuição de glifosato (GLY) e AMPA nas diferentes matrizes ambientais (água, sedimentos e biofilmes epilíticos) ao longo das quatro campanhas de amostragem (dezembro de 2022 a dezembro de 2023). A separação dos componentes principais indica variações significativas entre matrizes e locais de coleta. O agrupamento K-means reforça a existência de diferenças relevantes entre as concentrações de GLY e AMPA em períodos específicos e entre as bacias do Rio Erveira e Rio da Trilha.

A variância explicada pelos componentes principais demonstra que a água superficial apresentou maior variabilidade, com GLY (54,25%) e AMPA (18,40%) sendo os fatores mais influentes, sugerindo maior flutuação nessas concentrações ao longo do tempo e entre os pontos amostrais. Já os sedimentos e biofilmes mostraram menor variância, indicando maior estabilidade nas concentrações dessas substâncias (Figura 3).

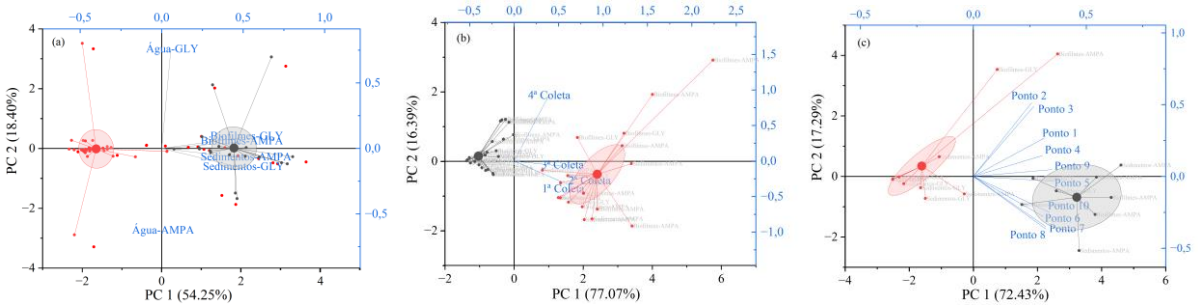


Figura 3. Análise de componentes principais com agrupamento k-means de clusters para concentração de Glifosato e AMPA: a) nas Matrizes: Água Superficial, Sedimentos e Biofilmes epilíticos; b) nas Coletas realizadas; e c) nos Pontos de Amostragem.

Em relação aos períodos de amostragem, a 1ª coleta (dezembro de 2022) explicou 77,07% da variância, indicando maior concentração ou variabilidade nesse período inicial em comparação com as coletas seguintes. Esse padrão pode estar relacionado à aplicação sazonal do herbicida e às condições hidrológicas da bacia.

CONCLUSÕES

O estudo confirmou que sedimentos e biofilmes epilíticos acumulam glifosato (GLY) e AMPA, enquanto a água apresenta baixas concentrações. A contaminação foi maior no Rio Erveira, refletindo a influência da atividade agrícola. Os picos de contaminação ocorreram em dezembro e junho, sugerindo relação com uso sazonal e chuvas. A análise estatística destacou diferenças entre matrizes e períodos, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e práticas conservacionistas para mitigar impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Chamada CNPQ/MCTI/FNDCT nº 18/2021 - UNIVERSAL

BIBLIOGRAFIA

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; TIECHER, T.; ZANELLA, R.; PRESTES, O. D.; EVRARD. O. Mobilization and transport of pesticides with runoff and suspended sediment during flooding events in a agricultural catchment of Southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research,** v. 28, p. 39370-39386, 2021.

FERNANDES, G.; APARICIO, V. C.; BASTOS, M. C.; GERÓNIMO, E.; LABANOWSKI, J.; PRESTES, O. D.; ZANELLA, R.; RHEINHEIMER, D. S. Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilmes in southern Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1377-1387, 2019.

RHEINHEIMER, D. S.; BASTOS, M. C.; LIMA, J. A. M. C.; LE GUET, T.; BRUNET, J. V.; FERNANDES, G.; ZANELLA, R.; PRESTES, O. D.; MONDAMERT, L.; LABANOWSKI, J. Epilithic biofilms, POCIS, and water samples as complementary sources of information for a more comprehensive view of aquatic contamination by pesticides and pharmaceuticals in southern Brazil, **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 58, n. 3, p. 273-284, 2023.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ESTABELECIMENTO DO LIMITE CRÍTICO AMBIENTAL DE FÓSFORO: UMA PROPOSTA UTILIZANDO A RAZÃO DE DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO NO SOLO

Raphael Antoine Anzalone[1*], Liza Macedo Lopes[2], Nerilde Favaretto[3]
[1] Estudante de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná *raphanzalone@gmail.com [2] Professora tutora de Ciências Exatas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná [3]Professora titular do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

RESUMO

O deslocamento do fósforo dos solos agrícolas para os corpos de água pode levar à eutrofização. Em consequência é necessário limitar os teores de fósforo nos solos agrícolas. O método atual usado para definição do limite crítico ambiental de fósforo (LCAP) por uma regressão linear segmentada é inconsistente dependendo do conjunto de dados. Esse trabalho apresenta uma forma alternativa de definir o LCAP. Nesse âmbito, está sendo proposto utilizar a razão de distribuição do fósforo no solo (RDPS) entre o P extraído por água e extraído por Mehlich-1 (P_{M1}). Essa variável é estável em altas concentrações de fósforo, eliminando a inconsistência do modelo tradicional. Um modelo matemático não linear consegue representar a relação entre a RDPS e P_{M1} e foi interpretado em termos de processos de adsorção do fósforo. A RDPS mostra ser adequada para definir o LCAP de um solo ainda que precisa ser avaliada a forma de defini-lo.
PALAVRAS-CHAVE: poluição; fósforo adsorvido; fósforo lábil; fósforo solúvel; equilíbrio.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente de ampla utilização na agricultura, devido à necessidade das culturas para proporcionar alta produção agrícola (White e Brown, 2010). Porém, da mesma forma que proporciona desenvolvimento vegetal intenso nos agroecossistemas, pode levar a um desenvolvimento abundante de algas nos corpos de água, em um fenômeno de eutrofização (Schindler, 2012), levando a perda de qualidade ambiental e humana dos recursos hídricos (Zeng *et al*., 2025).

No intuito de evitar contaminações dos corpos hídricos pela atividade agrícola, foram desenvolvidos modelos para a definição de limite crítico ambiental de fósforo (LCAP) que não deveriam ser excedidos em solos agrícolas (Sharpley, 1995). O modelo mais atual considera uma concentração de fósforo no solo acima da qual o solo perde a capacidade de adsorver o fósforo presente na solução do solo. O fenômeno é representado por uma regressão linear segmentada, onde o LCAP se encontra no ponto de segmentação, apresentando um aumento do coeficiente angular na relação do fósforo extraível em água (P_a) em função do fósforo extraível pelo método Mehlich-1, um extrator fraco (P_{M1}) (Gatiboni *et al*., 2015; Nair, 2014).

Tal modelo mostra inconsistências, pois, na medida que o conjunto de dados inclui solos com maior quantidade de fósforo adsorvido, o ponto de inflexão, definido como LCAP, tende a se encontrar em valores mais altos de P_{M1} (Celante *et al*., 2025; Silva *et al*., 2023). Tal comportamento se deve ao fato que a relação $P_a = f(P_{M1})$ atravessa várias ordens de grandeza, sendo assim bem representada por uma relação exponencial (Abboud *et al*., 2017; Nair *et al*., 2004). Dessa maneira a regressão linear segmentada levará o segundo segmento a captar a variabilidade em termos das maiores ordens de grandeza do P_a do conjunto de dados analisado, sem, portanto, captar a ordem de grandeza de P_a máxima (pois é virtualmente infinita). Por esse motivo, o objetivo desse trabalho foi de desenvolver uma relação matemática entre P_a e P_{M1} capaz de não sofrer esse tipo de inconsistência e analisar o comportamento dessa relação.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solos deste estudo foram oriundas de dois experimentos de longo prazo instalados nas estações experimentais da Fundação ABC, nos municípios de Ponta Grossa (25°00’35”S, 50°09’16”W) – PR e Castro (24°51’50”S, 49°56’25”W). Os experimentos são instalados respectivamente em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura franco-argiloarenosa e um Latossolo Bruno Distrófico típico, textura muito argilosa. Os dois sistemas são manejados há mais de 10 anos em sistemas de sistema direto,

com rotação bienal de culturas com aveia e trigo no inverno e milho e soja no verão e adubação mineral seguindo a necessidade das culturas. As duas áreas experimentais foram submetidas a quatro intensidades de aplicação de dejeto líquido bovino (0; 60; 120; 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e divididas seguindo um delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições.

Amostras de solos foram coletadas de 0-5; 5-10 e 10-15 cm em março de 2015. As amostras de campo foram incubadas com KH_2PO_4, por 30 dias com doses equivalentes a 0; 25; 50 e 100 % da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) do respectivo tratamento determinada anteriormente pelo modelo não-linear de Langmuir (Olsen; Watanabe, 1957; Sharpley, 1995). As amostras foram analisadas quanto aos teores P água – P_a- (Self-Davis *et al*., 2009), P adsorvido por Mehlich-1 – P_{M1} -(Marques e Motta, 2006). A determinação da concentração de fósforo dos extratos foi realizada em espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES VARIAN 720- ES).

Os dados utilizados são todas as repetições de campo e de incubação. Em vez de realizar uma regressão do P_a em função do P_{M1}, como na metodologia tradicional (Gatiboni *et al*., 2015; Nair *et al*., 2004), foi calculado a razão de distribuição do fósforo no solo (RDPS) ou seja, a razão entre o P_{M1}, fósforo disponível adsorvido na superfície das partículas de solo e o P_a, fósforo solúvel em água por meio da equação 1, para cada amostra de solo.

$$RDPS = PM1Pa \qquad \text{Eq. 1}$$

A relação RDPS = f(P_{M1}) foi modelizada por uma equação matemática não-linear capaz de fitar o formato da curva apresentado pela relação. A parametrização do modelo foi realizada pela minimização do erro quadrático médio, usando o algoritmo GRG não-linear do Solver do Excel®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação RDPS = f(P_{M1}) manteve um formato similar para os dois solos, apresentando o desenvolvimento de um pico seguido do estabelecimento gradual de um platô. Essa relação se mostrou muito interessante devido ao fato que a DRPS não apresenta variações de diferentes ordens de grandezas para um mesmo solo, permitindo que a modelização não sofra grandes desequilíbrios de peso entre as regiões do gráfico ao calcular o valor dos parâmetros do modelo por meio da minimização do erro quadrático médio.

A Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo (CMAP) estimada pela relação não-linear de Langmuir (Olsen e Watanabe, 1957), parâmetro amplamente utilizado para qualificar as relações entre o solo e o fósforo (Cassidy *et al*., 2025), mostra não ser o limite real de adsorção de fósforo pelos solos pois, além desse valor, o solo mantém sua RDPS estável, mostrando capacidade de adsorver mais fósforo. A CMAP não mostra, portanto, consistência quando estimado dessa forma.

A modelização da relação RDPS = f(P_{M1}) para 144 amostras resultou em solo franco-argiloarenoso em um R^2 = 0,39 e em solo argiloso R^2 = 0,14 apesar de uma variabilidade diversidade das condições experimentais (diferença de aplicação de dejeto líquido bovino e de saturação por fósforo). Esses baixos valores de R^2 da RDPS são também consequências do formato da curva, que varia em volta de platô, com um pico inicial. A qualidade da modelização do método tradicional é avaliada na relação P_a = f(P_{M1}) (Gatiboni *et al*., 2015; Nair *et al*., 2004; Silva *et al*., 2023), para qual o modelo apresenta em solo franco-argiloarenoso um R^2 = 0,92 e em solo argiloso R^2 = 0,88. A relação RDPS = f(P_{M1}) apresentou uma estabilização em valores elevados de P_{M1}, ao contrário da relação P_a = f(P_{M1}), evitando que a parametrização da equação dê um peso maior nessa região do gráfico, levando uma estabilidade e do LCAP ao incluir dados com elevado P_{M1} e aumentando a confiabilidade dessa relação para a definição do LCAP.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

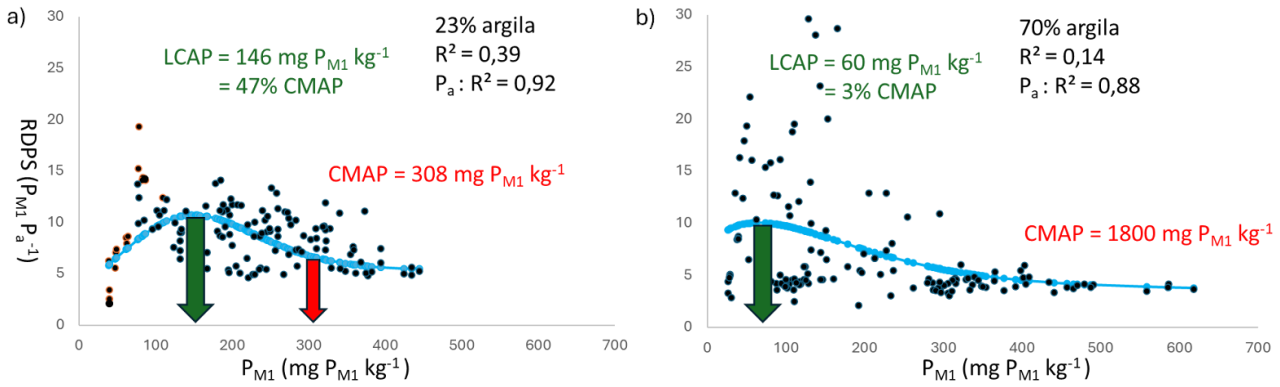


Figura 1. Resultado da modelização da razão de distribuição do fósforo no solo em função do fósforo adsorvido extraído por Mehlich-1 (P_{M1}) em. a) solo argiloso b) solo franco-argiloarenoso do primeiro planalto do Paraná. Os dados experimentais são apresentados em preto enquanto os dados modelados são apresentados em azul claro. A seta verde indica o limite crítico ambiental de fósforo (LCAP) enquanto a seta vermelha indica a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP).

Interpretamos a fase ascensional do gráfico da relação RDPS = f(P_{M1}) como o efeito tampão pelos sítios de alta afinidade com o fósforo na superfície dos minerais do solo (Zhu *et al*., 2017). Em consequência, cada incremento de fósforo no sistema solo multifásico (SSMF) - fração sólida e liquida - levará a sua quase completa adsorção em sítios de afinidade com P na superfície minerais do solo e, portanto, sem aumento expressivo do P_a. O declínio é interpretado como a saturação desses sítios e ocupação de sítios com afinidade gradativamente menor com o fósforo na medida que aumenta a quantidade de fósforo no SSMF (Van Doorn *et al*., 2024). O platô final é interpretado como o estabelecimento de um equilíbrio entre as superfícies dos minerais e a solução do solo, sem efeito tampão, típico de sítios de afinidade com o fósforo.

O LCAP foi arbitrariamente proposto no pico da RDPS, mas a forma de definir o LCAP ainda não está clara. Esse ponto deve se encontrar entre o pico de RDPS e a sua estabilização no platô final. De qualquer forma, o valor do LCAP será diferente do LCAP definido pelo método tradicional com a equação linear segmentada.

CONCLUSÕES

A razão de distribuição do fósforo no solo, proposta neste trabalho, apresenta uma variabilidade menor que a concentração de fósforo extraído com água, e uma estabilização para altos teores de fósforo Mehlich-1. A eliminação da relação exponencial entre o P_a e P_{M1} elimina a inconsistência do valor de limite crítico ambiental de fósforo obtida pela regressão linear segmentada. A equação matemática não linear utilizada foi capaz de modelizar com qualidade essa relação, em duas condições de solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pelo apoio financeiro pela pesquisa e os parceiros que disponibilizaram áreas experimentais e resultados laboratoriais que embasaram esse trabalho: Gabriel Barth, Felipe Abboud e Luana Celante.

BIBLIOGRAFIA

ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N..; *et al*. Phosphorus mobility and degree of saturation in oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil & Tillage Research**, v. 177, p. 45–53, 2017.

CASSIDY, R.; SERVICE, T.; ATCHESON, K.; *et al*. A unified and multi-scale source:Pathway priority index for diffuse pollution management. **Water Research**, v. 279, p. 123418, 2025.

CELANTE, L. S.; FAVARETTO, N.; MELO, V. F.; *et al*. Environmental Soil Phosphorus Threshold: Is it Affected by Soil Dataset? **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 236, n. 3, p. 162, 2025.

VAN DOORN, M.; VAN ROTTERDAM, D.; ROS, G.; *et al*. The phosphorus saturation degree as a universal agronomic and environmental soil P test. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 54, n. 5, p. 385–404, 2024. Taylor and Francis Ltd.

GATIBONI, L. C.; SMYTH, T. J.; SCHMITT, D. E.; *et al*. **Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de Santa Catarina**. Lages, 2015.

MARQUES, R.; MOTTA, A. C. Análise química do solo para fins de fertilidade. *In:* L. Almeida (Org.); **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas**. p.81–102, 2006. Curitiba: UFPR.

NAIR, V. D. Soil phosphorus saturation ratio for risk assessment in land use systems. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, 2014. Frontiers Media S.A.

NAIR, V. D.; PORTIER, K. M.; GRAETZ, D. A.; WALKER, M. L. An Environmental Threshold for Degree of Phosphorus Saturation in Sandy Soils. **Journal of environmental quality**, v. 33, p. 107–113, 2004.

OLSEN, S. R.; WATANABE, F. S. A Method to Determine a Phosphorus Adsorption Maximum of Soils as Measured by the Langmuir Isotherm. **Soil Science Society of America Journal**, v. 21, n. 2, p. 144–149, 1957. John Wiley & Sons, Ltd.

SCHINDLER, D. W. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, p. 4322–4333, 2012.

SELF-DAVIS, M. L.; MOORE, P. A.; JOERN, B. C. Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters Second Edition Southern Cooperative Series Bulletin No. 408 Contact Information. *In:* J. L. Kovar; G. M. Pierzynski (Orgs.); **Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters**. 2◦ ed, p.22–24, 2009. Blacksburg: Virginia Tech University.

SHARPLEY, A. N. Dependence of Runoff Phosphorus on Extractable Soil Phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, v. 24, n. 5, p. 920–926, 1995. Wiley.

SILVA, W. C.; CASSOL, P. C.; DA SILVEIRA NICOLOSO, R.; *et al*. Establishing environmental soil phosphorus thresholds to mitigate its transfer to water bodies in Mato Grosso State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 47, p. e0230049, 2023. Revista Brasileira de Ciencia do Solo.

WHITE, P. J.; BROWN, P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botany**, v. 105, p. 1073–1080, 2010.

ZENG, Y.; WANG, Z.; ZHAO, Q.; *et al*. Assessment of the Effects and Contributions of Natural and Human Factors on the Nutrient Status of Typical Lakes and Reservoirs in the Yangtze River Basin. **Water**, v. 17, n. 4, p. 559, 2025.

ZHU, J.; LI, M.; WHELAN, M. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. **Science of the Total Environment**, v. 612, p. 522–537, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MICROPLÁSTICOS EM SOLOS SOB DIFERENTES USOS E OCUPAÇÃO NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO IGUAÇU

Maria Eduarda Paulino de Almeida* [(1)], Fernanda Midori[(2)], Maria de Carvalho Santos [(2)], Eloana Janice Bonfleur[(3)]

[(1)] Estudante de Agronomia UFPR e bolsista PIBIC/CNPq, *eduarda.maria@ufpr.br; [(2)] Técnica do Laboratório de Mineralogia do Solo UFPR; [(3)] Professora do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola UFPR

RESUMO

Devido seu potencial acúmulo, a poluição por microplásticos (MP's) é uma preocupação crescente sendo listado como a segunda questão científica de grande importância para os compartimentos ambientais. Este trabalho quantificou MP's (0,5 a 2 mm) em sedimentos da margem do rio Iguaçu e solos de planícies de inundação da Bacia do Alto Iguaçu (2017-2019), buscando a influência da ocupação urbana, industrial e rural. Amostras foram coletadas em oito pontos (0-5 cm), com MP's separados por densimetria e contados em lupa. Dos 48 pontos, 4 apresentaram ausência de MP's. Nas amostras dos sedimentos foram observadas maior número de fragmentos (46 ± 73 itens kg-1), com áreas urbanas atingindo o máximo (351 itens kg-1). Nas áreas urbanas e industriais a principal via de entrada dos MP's é pelo fluxo do rio, o que não ocorre nas áreas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: contaminação; polímeros; separação densimétrica.

INTRODUÇÃO

Os polímeros são um dos principais materiais responsáveis pelas mudanças tecnológicas no último século devido sua versatilidade de uso (Hage Junior, 1998). Entre 1950 e 2017 a produção mundial saltou de 1,5 para 355 milhões de toneladas (Hammer *et al*., 2012; ABIPLAST, 2018) e atualmente, o maior produtor mundial é a China (33,4%). A produção brasileira em 2017 correspondeu a 1,74% da mundial, e os polímeros mais consumidos são polipropileno (PP), polietileno (PE), policloreto de vinila (PVC) e polietileno tereftalato (PET) com percentuais de 20,3%, 13,5%, 12,6% e 5,9% respectivamente (ABIPLAST, 2018).

A alta produção e o baixo percentual de reciclagem levam ao descarte inadequado de polímeros no ambiente. No Brasil, apenas 26% das embalagens plásticas passam por um processo de reciclagem (ABIPLAST, 2018). Esta situação tende a agravar, pois existe a perspectiva que até 2050 a geração de resíduos sólidos urbanos (incluindo plásticos) aumente de 2,01 para 3,40 bilhões de toneladas (Kaza *et al*., 2018).

Nos solos, os plásticos podem estar presentes em diferentes tamanhos. Os microplásticos de pequena escala (< 1 mm) apresentam diâmetro semelhante as partículas areia (2 mm a 53 µm) e silte (53 a 2 µm) (Van Cauwenberghe *et al*., 2015). Já os nanoplásticos (< 0,1 µm) serão encontrados na fração argila dos solos (He *et al*. 2018). Os MP´s podem persistir e acumular nos organismos, impedindo o desenvolvimento adequado dos mesmos. A transferência pela cadeia trófica pode atingir os seres humanos. Por exemplo, através da ingestão de moelas de frango foi reportado a existência de até 13 partículas de MP´s por moela (Lwanga *et al*., 2017). Essas partículas podem interferir em processos biogeoquímicos nos solos como a retenção e transporte de nutrientes e poluentes e a ciclagem ou degradação de materiais orgânicos. Portanto, é essencial o desenvolvimento de metodologias para separação e quantificação desses fragmentos dos solos com intuito de avaliar o nível de contaminação deste compartimento e consequente influência e transferência desse contaminante para hidrosfera e atmosfera.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar MP's de tamanho 0,5 a 2 mm em sedimento da margem do rio Iguaçu e em amostras de solo das planícies de inundação da Bacia do Alto Iguaçu, a fim de estabelecer a influência da ocupação urbana, industrial e rural da bacia nos anos de 2017, 2018 e 2019.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados oito pontos de amostragem ao longo da bacia do Alto Iguaçu (Tabela 1). Em cada local foi traçado um transecto a partir da margem do rio em direção a planície de inundação, e, delimitados dois pontos amostrais (sedimento de margem e solo a 30 metros da margem). Em um quadrante de 1 m² foram coletadas quatro amostras simples na profundidade 0 a 5 cm para compor uma amostra composta de sedimento e de solo em cada um dos oito pontos amostrais. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 60ºC e tamizadas em peneira de malha 2 mm.

Tabela 1. Localização e caracterização dos pontos amostrais

Ponto	Latitude	Longitude	Formação Geomorfológica	Solo	Uso do solo
1	25°29'3"S	49°11'24"W	Deposição Fluvial / Formação Guabirotuba	Gleissolo	Urbano / Após ETE Atuba Sul
2	25°31'47"S	49°13'0"W		Organossolo	Urbano / Após ETE Belém
3	25°34'8"S	49°13'45"W		Organossolo	Urbano
4	25°35'57"S	49°15'41"W	Deposição fluvial / Complexo Gnáissico – Migmatítico	Gleissolo	Urbano - Industrial
5	25°37'22"S	49°18'56"W		Gleissolo	Urbano - Industrial
6	25°35'45"S	49°24'59"W		Argissolo	Urbano - Industrial
7	25°36'3"S	49°30'51"W	Deposição fluvial / Complexo Metamórfico Indiferenciado	Neossolo	Rural - Agropecuária
8	25°35'21"S	49°37'57"W		Gleissolo	Rural - Agropecuária

A separação dos MP's foi feita por via densimétrica utilizando 10 g de amostra acrescida a 60 mL de solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) em triplicata. O conjunto foi disperso em ultrassom (550 J, amplitude de 50% por 2 minutos) e posteriormente colocado em repouso por 24 horas. O sobrenadante foi sifonado e filtrado em peneira de malha 0,5 mm. O volume retirado foi reposto com água deionizada e o conjunto amostra/solução foi agitado manualmente e posto em repouso por 24 horas por mais cinco ciclos. O material retido na peneira de 0,5 mm foi posto para secar em estufa a 60 °C por 12 horas e os fragmentos plásticos foram contados com auxílio de lupa com aumento de 4x. Os resultados foram expressos em itens kg^{-1} de amostra.

As comparações entre solo x sedimento e, os diferentes anos e ocupações foram feitas através de parâmetros de estatística descritiva: média e desvio padrão da média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi encontrado menor quantidade de MP's nas amostras de solo (22 ± 35 itens kg^{-1}) em relação as amostras de sedimento (46 ± 73 itens kg^{-1}) quando foram considerados os três anos de coleta. Quanto à forma, houve predominância de fragmentos e fibras (Figura 1). Além disso, ao longo dos anos, houve aumento no número de MP's tanto nos solos como nos sedimentos (Figura 2a).

Em relação ao uso e ocupação, as maiores médias tanto para os solos como para os sedimentos ocorreram nos pontos amostrais inseridos na área urbana (pontos 1, 2 e 3) (Figura 2b). Esses resultados podem ser explicados pela presença de estações de tratamento de efluentes entre os pontos (Figura 3).

Nos pontos de ocupação urbano/industrial (4, 5 e 6) a maior quantidade de MP's foi observada nas amostras de sedimento o que evidencia que a entrada desse contaminante se dá predominantemente pelo fluxo do rio Iguaçu (Figura 2b). O contrário ocorre nas áreas agrícolas (pontos 7 e 8) o que sugere acúmulo vindo do fluxo do rio e/ou entrada pela atividade agrícola da região.



Figura 1. Forma dos MP's predominantemente encontrados.

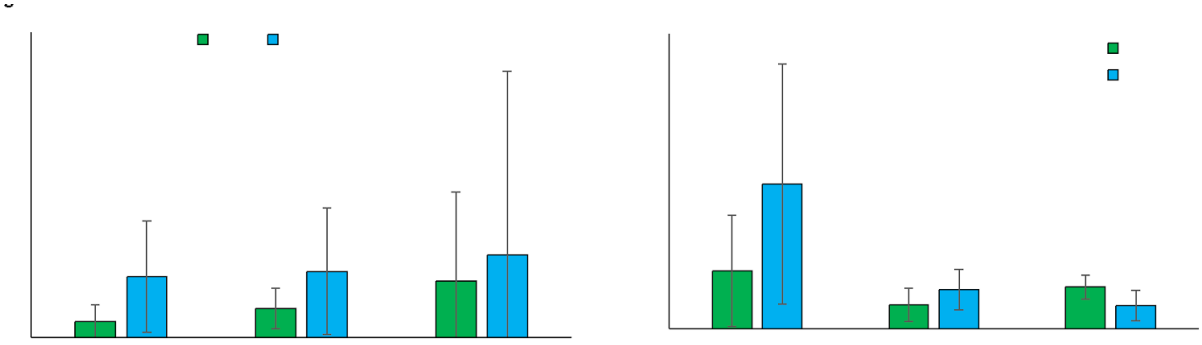


Figura 2. Quantidades médias de microplásticos nas amostras de solos e sedimentos nos anos de 2017, 2018 e 2019 (A) e de acordo com o uso e ocupação das áreas amostrais (B).

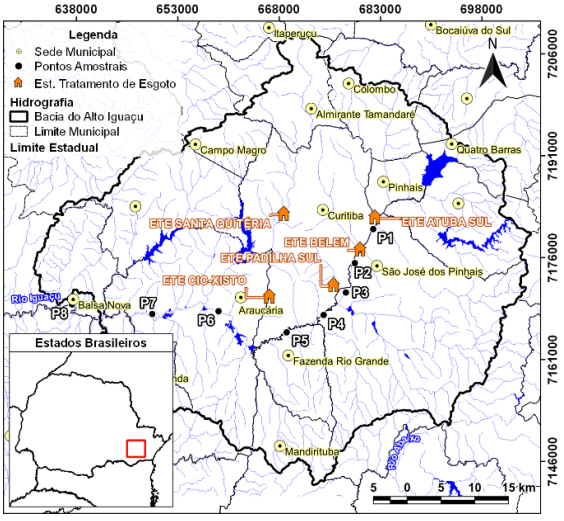


Figura 3. Localização das estações de tratamento de esgoto ao longo da bacia do Alto Iguaçu (Fonte: Santos, 2021).

CONCLUSÕES

A área urbana concentra maior quantidade de MP's na planície de inundação devido ao aporte de resíduos oriundos das estações de tratamento de efluentes. Nas áreas urbanas e industriais a principal via de entrada dos MP's é pelo fluxo do rio, o que não acontece nas áreas agrícolas.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Química e Mineralogia do Solo da Universidade Federal do Paraná pela utilização do espaço e ao Programa de Iniciação Científica e Tecnológica da UFPR pela concessão da bolsa para primeira autora.

BIBLIOGRAFIA

HAGE JUNIOR, E. Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 6–9, 1998.

HAMMER, J.; KRAAK, M. H. S.; PARSONS, J. R. **Plastics in the Marine Environment: The Dark Side of a Modern Gift.** [S. l.: s. n.], [s. d.].

ABIPLAST - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil 2018 da Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico.** [São Paulo]: Abiplast, 2018.

KAZA, S. *et al*. What a Waste 2.0: **A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.** [S. l.: s. n.], [s. d.].

VAN CAUWENBERGHE, L. *et al*. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. **Marine Environmental Research,** v. 111, p. 5–17, 2015.

HE, D. *et al*. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry,** v. 109, p. 163–172, 2018.

LWANGA, E. H. *et al*. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. **Scientific Reports,** v. 7, n. 1, p. 1–7, 2017.

SANTOS, J. M. de B. **Monitoramento ambiental dos solos e sedimentos de margem da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu – PR, Brasil**. 2021. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curitiba, 2021.

LEVANTAMENTO SOCIOECONÔMICO DE PROPRIEDADES RURAIS EM TRANSIÇÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL DE PLANTIO DE HORTALIÇAS PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS

Josiane Burkner dos Santos[1*], José Aridiano de Deus[2], Marcia Vargas Toledo[3], Dimas Soares Junior[4], Ellen Toews Doll Hojo[5]

[1]Pesquisadora do IDR-Paraná *santosjb@idr.pr.gov.br, [2 e 3]Extensionistas do IDR-Paraná, [4]Pesquisador do IDR-Paraná,[5]Bolsista do Projeto SPDH-AISA.

RESUMO

Levantamento através de questionário da situação socioeconômica de produtores rurais da região Oeste Noroeste do estado do Paraná que estão no início da transição do sistema de produção convencional tradicional de produção de hortaliças nestas regiões para sistemas mais sustentáveis e conservacionistas, na busca da mudança da produção tradicional com revolvimento do solo para o início da produção em Sistema Plantio Direto de Hortaliças conhecido com SPDH. Neste levantamento se registrou a situação socioeconômica dos agricultores e a percepção do produtor de como sua propriedade funciona. Esse levantamento tem como principal objetivo a compreensão do nível técnico e tecnificação da propriedade do agricultor como produtor de olerícola, qual o mercado ele atua, quais as suas limitações técnicas e sua percepção dentro da realidade local, assim como quais seus gargalos e potenciais. A metodologia foi a usada na extensão rural de aplicação de questionário quando o agricultor(a) aceitava o desafio de fazer parte do projeto para transformar sua propriedade em uma área de estudo para o desenvolvimento do SPDH com o apoio e acompanhamento técnico da extensão do IDR-Paraná e apoio da ITAIPU BINACIONAL através do convênio do Projeto AISA.

PALAVRAS-CHAVE: nível tecnológico, sistemas mais sustentáveis de produção de olerícolas, produção convencional de olerícolas, transição do sistema convencional para o SPDH

INTRODUÇÃO

A realização de levantamentos sistemáticos é empregada nos mais diversos campos da ciência. Esses levantamentos colaboram com as pesquisas agrícolas por meio de coleta, acompanhamento, monitoramento e análises de dados com base no objeto em estudo. A partir dos dados coletados podem-se planejar, executar e avaliar ações para as melhores tomadas de decisão. Essa ferramenta também é útil na geração de prognósticos mais assertivos, conhecer melhor e de forma mais ampla todos os aspectos relacionados ao objeto de estudo sendo possível a identificação e resoluções de problemas. Nesse contexto, está sendo realizado um levantamento de 34 unidades de referências (UR) localizadas nas Mesorregiões Oeste e Noroeste do Paraná que pertencem ao projeto SPDH-AISA numa parceria entre o IDR-Paraná e ITAIPU BINACIONAL.

Esse levantamento consiste em um questionário de aplicação aos produtores de SPDH, representando o 'marco zero' nessa pesquisa onde as URs serão acompanhadas por extensionistas e pesquisadores do IDR-Paraná em um projeto piloto que visa a implementação e divulgação do SPDH adaptada para as condições edafoclimáticas das Mesorregiões Oeste e Noroeste do Paraná. A seguir, serão apresentadas as informações referentes aos aspectos técnicos em temos de solo, planta e manejo na área de olericultura das URs obtidas de questionário aplicado ao produtor de olerícolas que aceitaram fazer parte do projeto nestas Regiões.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado por meio de levantamento sistemáticos de 34 unidades de referências (UR) de olericultura em SPDH localizadas nas mesorregiões oeste e noroeste do Paraná que pertencem ao projeto SPDH-AISA, numa parceria entre o IDR-Paraná e ITAIPU BINACIONAL. Apresentamos aqui o levantamento da

aplicação de um questionário focado nos Aspectos técnicos (solo, planta, fitossanidade e manejo na área), realizado no segundo semestre de 2023. Esse levantamento faz parte do acompanhamento, monitoramento e análises de dados das URs visando tomadas de decisões mais assertivas quanto aos aspectos econômicos e técnicos da propriedade. A partir dos dados coletados foi realizado um diagnóstico sobre a realidade local das áreas de olericultura em SPDH nessas regiões do Paraná. A análise estatística foi realizada por meio de estatística descritiva e exploratória com análise quali-quantitativa e a organização dos dados através de distribuição de frequência simples e percentual representada na forma de tabela.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão do produtor de olerícolas neste questionário levantou-se sobre as técnicas que eles aplicavam nas suas respectivas propriedades. Como a análise de solo, minitrincheiras, calagem, adubações diversas, monitoramento de pragas e doenças. Os resultados demonstrados na Tabela 1 mostram que das 34 unidades de referências 82 % realizaram análises de solo para a profundidade (0 – 20 cm), enquanto 68 % realizaram ainda análises estratificadas por profundidade (0 – 10 cm) e (10 – 20 cm), no entanto 65% não realizaram análises físicas do solo, apenas 32% realizaram análise física do solo, destes 76% não realização análise física estratificada apenas 24 % realizam. A coleta e amostragem de solo para fins de análise é essencial para conhecer os parâmetros relacionados a fertilidade do solo, sendo uma ferramenta imprescindível para realizar recomendações de corretivos e fertilizantes embasada na ciência.

É preciso ressaltar que em sistema de plantio direto a dinâmica do aporte de nutrientes e suas concentrações tendem a variar entre a camada superficial e em subsuperfície. É importante ainda o acompanhamento por meio de análises de solo frequentes para avaliar a dinâmica e mobilização do nutriente ao longo do perfil.

Enquanto a maioria das URs realizaram análise química, o mesmo não ocorreu para a análise granulométrica (Tabela 1). Os teores de areia, silte e argila fornecem informações importante ao manejo da área e devem sempre ser analisadas em conjunto com a análise química de solo. Apenas 32 e 24% das URs fizeram essa análise para a profundidade de 0-20cm e estratificada, respectivamente. A ausência da análise granulométrica e consequentemente das informações que poderiam ser extraídas da mesma nesse ‘marco zero’, impossibilita realizar comparações futuras para avaliar se a adoção do SPDH contribuiu ou não para melhorar parâmetros físicos do solo.

Os resultados dos questionários sobre o uso de adubos químicos como adubação de N e adubações fracionadas e foliar, demonstram que mais de 80 dos produtores usam essas técnicas, a minoria menos de 20% não usa esse e os mais diversos recursos de adubação como calagem e gessagem e adubação químicas diversas e foliar. Ratificando, que apesar de ser um produtor que usa intensamente os agroquímicos, no entanto não se mune dos recursos técnicos que podem aprimorar os resultados desses agroquímicos, conforme o relatado anteriormente sobre as análises feitas.

TABELA 1. RESPOSTAS DE QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO APLICADO EM ÁREAS DE OLERICULTORES QUE INICIARAM O SPDH NAS REGIÕES OESTE E NOROESTE

PERGUNTAS	RESPOSTAS		
	% DE SIM	% DE NÃO	% NÃO RESPONDERAM
REALIZOU AMOSTRAGEM DE SOLO PARA ANÁLISE QUÍMICA 0-20 cm?	82	18	0
REALIZOU AMOSTRAGEM DE SOLO PARA ANÁLISE QUÍMICA 0-10 cm E 10-20 cm?	68	32	0
REALIZOU AMOSTRAGEM DE SOLO PARA ANÁLISE FÍSICA 0-20 cm?	32	65	3
REALIZOU AMOSTRAGEM DE SOLO PARA ANÁLISE FÍSICA 0-10 cm E 10-20 cm?	24	76	0
OBSERVA OU JÁ OBSERVOU COMPACTAÇÃO DO SOLO?	68	32	0
OBSERVA OU JÁ OBSERVOU EROSÃO DO SOLO?	24	76	0
DISPÕES DE "MINI-TRINCHEIRA" PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO?	44	56	0
ESTÁ CONSEGUINDO MANTER A COBERTURA VEGETAL ACIMA DE 10 TON/HA/ANO DE MATÉRIA SECA?	6	79	15
DISPÕE DE ROLO-FACA PARA ACAMAMENTO DAS PLANTAS DE COBERTURA?	6	76	18
REALIZA ROTAÇÃO DE CULTURAS?	65	26	9
ROTAÇÃO DE CULTURAS NO VERÃO COM MAIS DE 2 ESPÉCIES?	50	41	9
ROTAÇÃO DE CULTURAS NO INVERNO COM MAIS DE 2 ESPÉCIES?	44	47	9
UTILIZA IRRIGAÇÃO?	94	6	0
UTILIZA FERTIRRIGAÇÃO?	6	94	0
REALIZOU CALAGEM NA IMPLANTAÇÃO?	53	47	0
REALIZOU CALAGEM SUPERFICIAL POSTERIORMENTE A IMPLANTAÇÃO?	21	79	0
REALIZOU GESSAGEM?	6	94	0
REALIZOU ROCHAGEM?	6	79	15
INCIDÊNCIA DE PRAGAS COM FREQUENCIA?	74	9	18
INCIDÊNCIA DE DOENÇAS COM FREQUENCIA?	44	47	9
FAZ OU JÁ FEZ ANÁLISE PARA NEMATÓIDES?	15	76	9
REALIZA MONITORAMENTO DE NEMATÓIDES?	3	91	6
HÁ OCORRÊNCIA DE NEMATÓIDES?	21	71	9
FAZ CONTROLE PARA NEMATÓIDES?	3	82	15
OCORRÊNCIA DE ADVERSIDADES CLIMÁTICAS	71	21	9
USO DE DOSES ACIMA DE 100 KG POR HECTARE DE NITROGÊNIO POR CULTURA?	80	20	0
USO DE DOSES ACIMA DE 100 KG POR HECTARE DE NITROGÊNIO EM COBERTURA POR CULTURA?	89	11	0
USO DE DOSES ACIMA DE 100 KG POR HECTARE DE FÓSFORO POR CULTURA?	85	15	0
USO DE DOSES ACIMA DE 100 KG POR HECTARE DE POTÁSSIO POR CULTURA?	9	91	0
USO DE DOSES ACIMA DE 100 KG POR HECTARE DE POTÁSSIO EM COBERTURA POR CULTURA?	9	82	9
REALIZA ADUBAÇÃO FOLIAR?	71	26	0

*% de respostas aos questionários com base em 34 unidades de referências; NR = Não Respondeu

Ainda relacionado ao solo, os produtores foram questionados sobre a sua percepção quanto problemas de compactação e erosão da propriedade. Problemas esses comuns em diversas cadeias produtivas e regiões do estado. Inclusive a adoção do SPDH tem como uma das principais vantagens combater problemas relacionados a erosão e compactação do solo. Quase 70 % das URs observam ou já observaram problemas de compactação da área conforme resultados observados na Tabela 1. Enquanto problemas de erosão a percepção por parte dos agricultores foi de que em apenas 24 % dessas áreas há erosão, sendo importante investigar se o produtor já adota medidas que minimizem processos erosivos do solo, já que geralmente são problemas que costumam ocorrer de forma conjunta numa mesma área. Vale ressaltar que essas respostas obtidas refletem a percepção do agricultor referente a observação ou não do problema, não sendo aprofundado aspectos relacionados ao grau ou severidade desses problemas.

Nesse contexto, a presença de “mini-trincheiras” nas URs pode auxiliar o produtor com a ajuda do extensionista ou pesquisador nessa percepção de problemas, podendo avaliar melhor características de qualidade do solo.

É importante ressaltar os produtores de hortaliças na sua maioria usa de irrigação visto que a dinâmica de produção é muito mais intensa e os mesmo tem uma necessidade maior do controle ambiental e a irrigação minimiza os riscos deste tipo de produção, sendo que nas UR´s avaliadas 94% usam irrigação e 6% na usa, mas destes 94% apenas 6% usam fertirrigação e 94% declaram que não usam. Quando questionados se perceberam ocorrências de adversidades climáticas 71% declaram que sim, 21 % não e 9% não responderam.

Observa-se também como um consenso comum onde 79% dos agricultores relataram que não conseguem manter mais de 10 toneladas por hectare ano de massa seca sobre o solo, fato esse que advém de vários fatores como o não uso de plantas de cobertura, as duas regiões serem de clima quente o que favorece muito a taxa de decomposição das coberturas e consequente diminuição das mesmas, além de que na maioria das vezes o agricultor não investe nas plantas de cobertura pela impressão do mesmo de que esta é apenas custos e não traz retorno. Outros fatores como a falta de equipamento adequado para a rolagem da cobertura (rolo-faca), que foi relatado que 76% não tem esse equipamento, e a não realização de rotações de cultura também são fatores que aumentam a severidade das perdas das coberturas para o meio ambiente.

É importante ressaltar que esse agricultor é mais tecnificado pois faz mais culturas ao ano quando comparado ao produtor de grãos, usa mais irrigação e a fertilização, e produtos agroquímicos em geral. No entanto, isso resulta em uma maior velocidade de produção e em maiores acumulados em agroquímicos (tanto fertilizantes, quanto agroquímicos em geral) fato muito preocupante, pois provavelmente esses agricultores estão se contaminando e contaminando o meio ambiente nestes excessos, conforme observamos nas respostas da Tabela 1.

CONCLUSÕES

Os agricultores da olericultura são mais tecnificados em função da intensidade que esse sistema impõe, no entanto estão mais sujeitos a riscos como de maior contaminação com agroquímicos e riscos dos custos elevados de produção.

O nível de uso das técnicas e informações em um meio de maior risco deveria ser maior com o objetivo de diminuir os riscos, no entanto se observa que as informações são coletadas de forma localizada e incompleta o que aumenta os riscos econômicos e ambientais, deste sistema de produção.

Os riscos desse meio de produção podem ser minimizados com o maior afinamento da técnica e melhor apoio técnico ao produtor com adoção de sistemas mais sustentáveis de produção como o SPDH.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio, estrutural, técnico e de pessoal do IDR-Paraná o apoio econômico e técnico da ITAIPU-BINACIONAL, para elaboração e condução deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 3. Ed. Porto Alegre: ARTMED, 2010. 296 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EXPLORANDO ESTRATÉGIAS DE FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA NA SUCESSÃO SOJA-MILHO SEGUNDA SAFRA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB PLANTIO DIRETO NO PARANÁ

Eduardo Henrique Brosso dos Santos[1*], Lucas Hiroshi Suguiura[2], Luis Fernando Cipriano Alves Pereira[3], Tadeu Takeyoshi Inoue[4], Marcelo Augusto Batista[5]

[1]Estudande de Graduação, Universidade Estadual de Maringá; [2]Estudante de Pós-graduação, Universidade Estadual de Maringá; [3]Estudante de Pós-graduação, Universidade Estadual de Maringá; [4,5]Professor e pesquisador, Universidade Estadual de Maringá. *ra140707@uem.br.

RESUMO

A adubação potássica mal manejada na sucessão soja-milho segunda safra pode comprometer a produtividade e causar desbalanço de cátions no solo. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de doses e épocas de aplicação do K_2O na soja e seu efeito residual no milho segunda safra. O experimento, conduzido por seis safras em Latossolo Vermelho sob plantio direto, seguiu delineamento em blocos casualizados com cinco doses de K_2O (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha^{-1}), duas épocas de aplicação e a presença ou não de 30 kg ha^{-1} de K_2O no sulco de semeadura. A produtividade da soja variou de 1855 a 3700 kg ha^{-1}, e do milho segunda safra de 6500 a 6900 kg ha^{-1}. O fornecimento de K_2O na semeadura da soja favoreceu a produtividade do milho, e o nível crítico de K^+ no solo foi de 0,23 $cmol_c dm^{-3}$ para soja e 0,38 $cmol_c dm^{-3}$ para milho segunda safra. A porcentagem de K na CTC para soja seria de 1,7% e para milho seria de 2,7.

PALAVRAS-CHAVE: Adubação potássica; *Zea mays*; *Glycine max*.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de soja [*Glycine max* (L.) Merril] e o terceiro maior produtor de milho (*Zea mays* L.) no mundo (USDA, 2024). Diante disso, o sistema de produção de grãos predominante na região tropical do Brasil é a sucessão soja-milho segunda safra (Conte *et al*., 2020). Dentre os principais nutrientes envolvidos no manejo da adubação desse sistema produtivo, o potássio (K) destaca-se pela alta demanda,

Estudos recentes em ambientes tropicais têm demonstrado que a antecipação da adubação potássica em culturas antecessoras pode ser benéfica para a cultura principal em sucessão (Bossolani *et al*., 2022). Contudo, a época de aplicação pode interferir na eficiência do uso do mesmo (Lago *et al*., 2023).

A hipótese do trabalho é que a época, forma de aplicação e dose de potássio na soja afeta a produtividade da soja e do milho segunda safra cultivado sob efeito residual da adubação de soja. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos das doses de K_2O aplicadas anualmente na soja em pré ou pós-semeadura e com com ou sem K no sulco de semeadura nos parâmetros químicos do solo e de produtividade das culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Floresta, estado do Paraná (23° 35' 39.4"S 52° 04' 03.3" W), com altitude média de 392 m. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférrico de textura muito argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial 5x2x2: cinco doses de K_2O (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha^{-1}) aplicadas na soja; duas épocas de aplicação (15 dias antes da semeadura e 15 dias após a emergência); e o fornecimento ou não de 30 kg ha^{-1} de K_2O no sulco de semeadura.

O experimento foi implantado na safra de soja 2015/16. As parcelas apresentavam 40 m^2 (8 m x 5 m), sendo cada uma composta de 10 linhas de semeadura com soja ou milho. As linhas de semeadura foram mantidas inalteradas para ambas as culturas ao longo dos anos. As aplicações de K foram realizadas apenas na cultura da soja e a fonte utilizada foi o cloreto de potássio (KCl) com 60% de K_2O.

A coleta de solo foi realizada aos 12, 24 e 36 meses para análise química. A produtividade da soja e do milho segunda safra foi determinada após a colheita, com a massa de grãos corrigida para 13% de umidade. A análise estatística incluiu testes de normalidade, homogeneidade de variâncias e análise de regressão para verificar a influência dos tratamentos. A partir dos dados de produtividade e níveis de K^+ no solo foi determinado o máximo teor de K^+ responsivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de K_2O no sulco de semeadura não influenciou a produtividade da soja, exceto na safra 2016/17, onde houve aumento de 5%. Já para o milho segunda safra, o fornecimento do potássio na semeadura da soja resultou em maiores produtividades em todas as safras, com ganhos entre 256 e 379 kg ha^{-1} de grãos (Figura 1).

A época de aplicação (pré ou pós-semeadura) não afetou a produtividade das culturas (Tabela 1), exceto na soja 2018/19, onde a aplicação pós-semeadura possivelmente levou a uma queda na produtividade devido ao efeito salino do KCl sob condições de déficit hídrico severo. Esses resultados indicam que a antecipação da aplicação do fertilizante é viável, reduzindo o número de operações no sistema.

A análise de regressão indicou que o nível crítico de K^+ para obtenção de 90% da produtividade máxima é de 0,23 $cmol_c dm^{-3}$ para a soja e 0,38 $cmol_c\ dm^{-3}$ para o milho segunda safra. Esses valores sugerem que o nível crítico regional adotado pode precisar ser ajustado para o sistema soja-milho segunda safra. A porcentagem de K na CTC para soja seria de 1,7% e para milho seria de 2,7%.

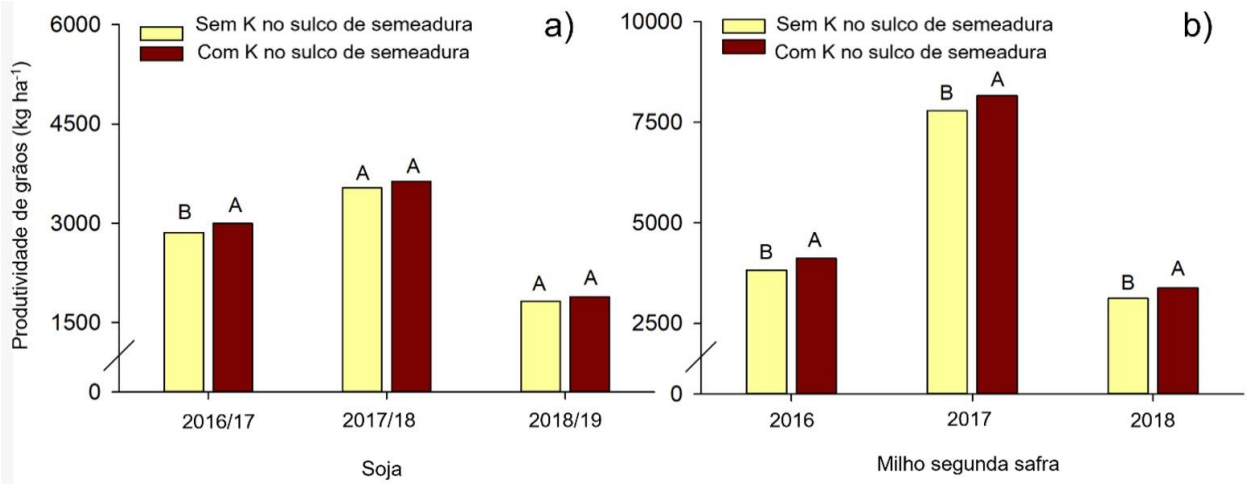


Figura 1. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de soja (a) e milho segunda safra cultivado sob efeito residual da adubação potássica da soja (b) em função da adubação com K_2O no sulco de semeadura da soja. Colunas agrupadas sobrepostas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F (P>0,05).

CONCLUSÕES

A época de aplicação do K_2O na soja não afetou a produtividade da soja e do milho segunda safra e seu fornecimento na dose de 30 kg ha^{-1} no sulco de semeadura da soja beneficiou a produtividade de soja (1 ano) e do milho segunda safra sob efeito residual (todos anos). O nível crítico de K^+ no solo para obtenção de 90% da produtividade de grãos foi de 0,23 $cmol_c\ dm^{-3}$ para soja e 0,38 $cmol_c\ dm^{-3}$ para milho segunda safra, e a porcentagem de K na CTC para soja seria de 1,7% e para milho seria de 2,7, indicando a necessidade de revisão das recomendações regionais para melhor adequação do manejo da adubação potássica no sistema.

Tabela 1. Valores de probabilidade das análises de variância para produtividade de grãos de soja e milho em seis safras no estado do Paraná, Brasil.

Fontes de variação	Produtividade	
	Soja	Milho
	P > F	
	2016/17	2016
KS	*	*
AT	0,118	0,748
KR	*	0,089
KS * AT	0,283	0,116
KS * KR	*	0,343
AT * KR	0,191	0,879
KS * AT *KR	0,523	0,880
	2017/18	2017
KS	0,191	**
AT	0,435	0,513
KR	0,137	**
KS * AT	0,439	0,791
KS * KR	0,602	0,737
AT * KR	0,882	0,648
KS * AT *KR	0,750	0,380
	2018/19	2018
KS	0,384	*
AT	0,081	0,132
KR	0,384	***
KS * AT	0,580	0,945
KS * KR	0,521	0,131
AT * KR	*	0,488
KS * AT *KR	0,721	0,932

KS: potássio na semeadura; AT: época de aplicação; KR: dose de potássio.
*Significativo em P < 0,05.
**Significativo em P < 0,01.
***Significativo em P < 0,001.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à COCAMAR Cooperativa Agroindustrial pelo fornecimento da área experimental e insumos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação Araucária (FA) pelas bolsas de mestrado, doutorado, iniciação científica e bolsa produtividade.

BIBLIOGRAFIA

BOSSOLANI, J. W., MENEGHETTE, H. H. A., SANCHES, I. R., DOS SANTOS, F. L., PARRA, L. F., & LAZARINI, E. 5-year Effects of Potassium Fertilization Levels on Nutrition Balance and Yield in the Maize/Soybean Succession. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 16, p. 2017–2028, 2022

CONTE, O., FRANCHINI, J. C., DEBIASI, H., & JUNIOR, A. A. B. Manejo do Solo. *In*: Tecnologias de produção de soja. **Embrapa Soja**, p. 55-80, 2020

LAGO, B. C., FAVARIN, J. L., DE ALMEIDA, R. E. M., PIEROZAN JUNIOR, C., DE OLIVEIRA, S. M., TEZOTTO, T., DE BORJA REIS, A. F., & SIEBECKER, M. G. Potassium application timing to improve corn K-fertilizer use in the oat-corn sequence: A tracer study for high yielding corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 4, p. 618–629, 2023. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067054

USDA. Production—Corn. **Foreign Agriculture Service**. 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO RELACIONADOS COM A PRODUTIVIDADE DE SOJA POR MODELAGEM *FUZZY*

Vitor Hugo Outeiro[1,2*], Leandro Rampim[1], Marcelo Marques Lopes Müller[1], Edson Lucas Camilo[2], Cristiano Andre Pott[1]

[1] Professor da UNICENTRO, [2] Pesquisador Pós-Doc do PPG-Agronomia da UNICENTRO. *Email: vitorhugooutteiro@yahoo.com.br

RESUMO

O manejo da soja para aumento da produtividade exige uma compreensão detalhada dos atributos químicos do solo e suas relações com a produtividade em sítios específicos da lavoura. Este estudo desenvolveu um modelo baseado em lógica *fuzzy* para avaliar essa influência. O modelo foi implementado no software R e testado com dados do projeto NAPI-PROSOLO de Guarapuava, PR. Observou-se um aumento na produtividade para o pH ($CaCl_2$) até 6. Valores de K^+ próximos a 0,45 $cmol_c\ dm^{-3}$ e saturação de 4% de K foram associados a maiores respostas em produtividade, enquanto saturação superior a 5% limitou o rendimento. Além disso, pontos com maiores teores de Ca^{2+} apresentaram melhores respostas produtivas. O modelo forneceu uma análise detalhada das interações entre solo e produtividade em pontos específicos, contribuindo para uma tomada de decisão mais eficiente no manejo agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão; fertilidade do solo; lógica *fuzzy*; manejo sítio-específico.

INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas é influenciada por diversos fatores, incluindo condições climáticas, atributos físicos, químicos e biológicos do solo, pragas e doenças, entre outros (Emran *et al*., 2021). Compreender e quantificar a interferência desses fatores na produtividade é essencial para estabelecer estratégias de manejo eficientes.

A agricultura digital tem revolucionado o setor ao integrar dados e tecnologias para otimizar a gestão agrícola. O acesso a uma grande quantidade de informações permite tomar decisões mais precisas, reduzindo custos e aumentando a eficiência da produção. Dentre as abordagens para análise da interferência dos atributos do solo na produtividade, destacam-se técnicas estatísticas como estatística descritiva, modelos de regressão e análise multivariada. No entanto, essas técnicas nem sempre capturam de forma eficiente a complexidade das interações entre os fatores envolvidos (Filla *et al*., 2023).

A lógica fuzzy é uma alternativa para lidar com incertezas na produção, permitindo graus de pertinência entre 0 e 1 proporcionando uma modelagem mais flexível (Mittal *et al*., 2020), ao contrário da lógica clássica binária. Isso possibilita mapear relações complexas entre variáveis do solo e produtividade, analisando a influência dos atributos químicos no rendimento das culturas (Reis *et al*., 2023). Modelos atuais avaliam a produtividade com base em variáveis de interferência (Stepanov *et al*., 2020), mas não indicam a influência específica de cada variável em cada ponto da lavoura. O trabalho testa a hipótese de que um modelo *fuzzy* é capaz de avaliar a relação de interferência entre os atributos químicos do solo e a produtividade de soja. Neste estudo, o objetivo é usar um modelo baseado em lógica *fuzzy* para avaliar e determinar qual é a interferência dos atributos químicos do solo na produtividade da soja, em cada ponto da área agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O conjunto de dados com 93 pontos utilizados para testar o modelo nesse trabalho foi obtido do projeto NAPI-PROSOLO – Manejo e conservação do solo e da água no Estado do Paraná, localizado no Distrito de Entre Rios, Guarapuava - PR. Os dados normalizados no intervalo de 0 a 1 dos atributos químicos do solo foram utilizados para desenvolver o modelo baseado em lógica *fuzzy*. Para identificar a relação entre a variação de produtividade e cada atributo normalizado foi ajustado um modelo de potência para cada variável química analisada (Figura 1). A partir da função ajustada foi determinado o impacto de cada variável na variação da produtividade na área.

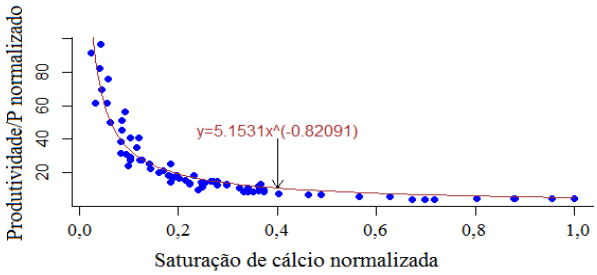


Figura 1. Função ajustada da variação de produtividade pelo P normalizado.

O método de Mamdani foi usado na técnica de inferência. Esse método consiste em quatro etapas: A primeira é a fuzificação das variáveis de entrada; a segunda é a definição das regras de inferência; a terceira é a agregação das regras de saída (composição); a quarta é a defuzificação. O processo de fuzificação foi realizado por funções de pertinência para os atributos químicos do solo (Figura 2a), para a variação de produtividade (Figura 2b) e para a saída final (Figura 2c).

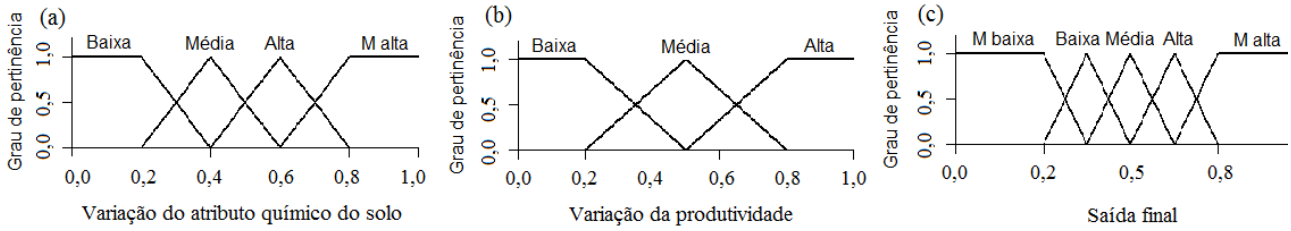


Figura 2. Funções de pertinência para a variação dos atributos químicos do solo (a), variação da produtividade (b) e saída final do modelo (c).

A variação de produtividade causada pelo atributo químico do solo foi calculada com base na função de potência ajustada. As regras *fuzzy* foram definidas no formato SE-ENTÃO. Exemplo: Se a variação do atributo químico for alta e a da produtividade for baixa, ENTÃO a interferência do atributo é baixa. As regras *fuzzy* ativadas no modelo foram agregadas na função de pertinência de saída final e em seguida foram defuzificada para uma saída real. Avaliou-se os atributos químicos fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e pH ($CaCl_2$). Foram realizadas análises estatísticas utilizando regressão não linear (modelo de potência) para identificar a relação entre a produtividade e os atributos químicos do solo, além da aplicação de lógica fuzzy com o método de Mamdani com técnica de inferência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados revelou que tanto o Mg^{2+} quanto o K^+ estavam em excesso nessa área, o que resultou em interferência negativa na produtividade. Pesquisas demostram que a produtividade de soja decresce a partir de doses elevadas de K^+ no solo (Popp *et al.*, 2020). A necessidade de aumentar o teor de Ca^{2+} na área é reforçado pelos resultados que indicaram aumento na produtividade com o incremento das relações Ca/Mg e Ca/K (Tabela 1). O pH do solo teve interferência positiva na produtividade pois conforme aumentaram os valores de pH do solo, aumentou a produtividade (Tabela 1). Esse incremento na produtividade pode estar associado a maior disponibilidade de P no solo (Oliveira Filho *et al.*, 2022) e ao maior crescimento radicular (Müller *et al.*, 2020) em função do aumento do pH.

Tabela 1. Variações de produtividade (Mg ha^{-1}) promovidas pelos atributos químicos do solo. Cor vermelha e verde indicam contribuição negativa e positiva na produtividade, respectivamente.

P	K%	Ca%	Mg%	pH	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
+0,049	-0,746	+1,747	-0,876	+1,483	+1,651	+1,047	-1,101

Após o processo de defuzificação a saída final do modelo forneceu as informações do nível de interferência de cada variável em cada ponto da área (Tabela 2). No ponto 2, o K^+ limita pouco a produtividade com valor de 0,32 (Tabela 2), pois sua interferência é negativa (Tabela 1), e quanto menor a saída, menor a limitação. O Ca^{2+} e o pH, com 0,55 e 0,54, limitam mais, pois sua influência é positiva, e valores maiores indicam menor limitação. O Mg^{2+} apresenta alta limitação devido ao seu excesso em relação ao Ca^{2+}. A saída final do modelo permite definir recomendações específicas para cada ponto da área.

Tabela 2. Exemplo da saída final do modelo para os três primeiros pontos. Cor vermelha e verde indicam contribuição negativa e positiva na produtividade, respectivamente.

Ponto	K%	Ca%	Mg%	pH ($CaCl_2$)
1	0,34	0,69	0,64	0,73
2	0,32	0,55	0,72	0,54
3	0,71	0,72	0,77	0,52

As maiores respostas do Ca^{2+} na produtividade foram observadas nos pontos com Ca% em torno de 34% (Figura 3). Embora as maiores respostas sejam em 34%, as recomendações de correção de Ca^{2+} devem ser realizadas visando elevar para 40%, visto que, a relação Ca/Mg está baixa, menor do que 2. Takamoto *et al*. (2021) verificaram, que a relação Ca/Mg limita o crescimento da soja. A contribuição é máxima para os valores de pH ($CaCl_2$) em torno de 6 para esse conjunto de dados. De acordo com NEPAR (2019) a faixa de pH considerada adequada é entre 5,0 e 5,5 quando determinado em $CaCl_2$. No entanto, o modelo demonstrou uma resposta positiva da produtividade da soja em função do pH($CaCl_2$) até um valor de 5,9. Os pontos em que o K^+ não está limitando a produtividade estão com saturação em torno de 4% da CTC, saturação dentro da faixa ideal de 3-5 %, recomendada para solos argilosos (Gaspar *et al*., 2015).

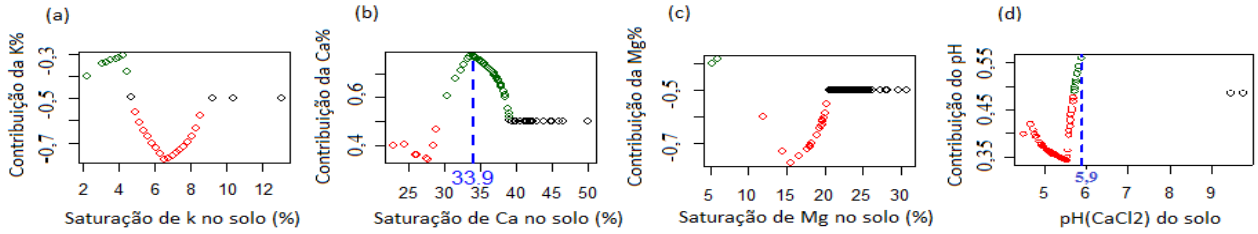


Figura 3. Contribuição da saturação de potássio (a), saturação de cálcio (b), saturação de magnésio (c) e pH do solo (d) na produtividade da soja.

CONCLUSÕES

O modelo *fuzzy* permite identificar, em cada ponto da área agrícola, os atributos químicos do solo que mais contribuem para a produtividade de soja e quantifica o valor máximo de resposta para cada nutriente.

A partir de determinado valor do atributo avaliado, a resposta da produtividade se estabiliza, indicando que o atributo atingiu sua suficiência ou que outros fatores estão limitando o aumento de produtividade.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Mecanização e Agricultura de Precisão, ao Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo e ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da UNICENTRO pela ajuda nos trabalhos de pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3 e a Fundação Araucária pela concessão de bolsa de Pós-doutorado do primeiro autor.

BIBLIOGRAFIA

EMRAN, S. Al; KRUPNIL, T. J.; ARAVINDAKSHAN, S.; KUMAR, VIERNDER.; PITTELKOW, C. M. Factors contributing to farm-level productivity and household income generation in coastal Bangladesh's rice-based farming systems. **PLOS One**. v. 16, n. 9, p. 1–27, 2021.

FILLA, V. A.; COELHO, A. P.; BETTIOL, J. V. T.; LEAL, F. T.; LEMOS, L. B.; ROSALEN, D. L. Model performance in estimating the yield of common bean cultivars. **Revista Ciência Agronômica**. v. 54, n. 1, p. e20217835, 2023.

GASPAR, G. G.; TAKAHASHI, H. W.; CANTERI, M.G.; ALMEIDA, J. C. V.; FIORETTO, R. A.; ANDRADE, B. L. G.; FANTIN, L. H. Balance among calcium, magnesium and potassium levels affecting Asian Soybean Rust severity. **Agronomy Science & Biotechnology**, v. 1, n. 1, p. 39, 2015.

MITTAL, K.; JAIN, A.; VAISLA, K. S.; CASTILLO, O.; KACPRZYK, J. A comprehensive review on type 2 fuzzy logic applications: Past, present and future. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. v. 95, p. 103916, 2020.

MÜLLER, M.; SCHNEIDER, J. R.; KLEIN, V. A.; SILVA JÚNIO, J. P.; CHAVARRIA, G. Root growth and crop performance of soybean under chemical, physical, and biological changes after subsoiling. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, p. 932-947, 2020.

NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ DA SOCIEDADE BRASIELIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NEPAR-SBCS. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná.** Curitiba: NEPAR, SBCS, 2019. 289 p.

POPP, M. P.; SLATON, N. A.; ROBERTS, T. L. Profit-maximizing potassium fertilizer recommendations for soybean. **Agronomy Journal,** v. 112, n. 6, p. 5081-5095, 2020.

REIS, J. C.; RODRIGUES, G. S.; BARROS, I.; RODRIGUES, R. A. R.; GARRETT, R. D.; VALENTIM, J. F.; KAMOI, M. Y. T.; MICHETTI, M.; WRUCK, F. J.; RODRIGUES-FILHO, S. Fuzzy logic indicators for the assessment of farming sustainability strategies in a tropical agricultural frontier. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, n.8, p. 1-18, 2023.

OLIVEIRA FILHO, J. S.; DA SILVA BARROZO, M. V.; PEREIRA, M. G. Environmental factors and land use changes controlling the availability of phosphorus in dryland soils. **Journal of Arid Environments**, v. 202, p. 104770, 2022.

STEPANOV, A.; DUBROVIN, K.; SOROKIN, A.; ASEEVA, T. Predicting soybean yield at the regional scale using remote sensing and climatic data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, p. 1936, 2020.

TAKAMOTO, A.; TAKAHASHI, T.; TOGAMI, K.; Effect of changes in the soil calcium-to-magnesium ratio by calcium application on soybeans, Glycine max (L.) Merr., growth. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 67, n. 2, p. 139-149, 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ECONOMIA GERADA PELA INOCULAÇÃO DE RIZÓBIOS EM CULTIVARES DE FEIJÃO EM SOLOS SOB PLANTIO DIRETO

Franciele de Oliveira[2]; Tiago Santos Telles[1]; Maria Aparecida de Matos[1]; Alexandra Scherer[3]; Diva Souza Andrade[1*]

[1]Pesquisador Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER, PR 86047-970, Londrina, Paraná, Brazil; [2]Doutoranda no programa de pós-graduação em Agronomia, UEL-IDR-Paraná, PR 86049-970, Brazil, PR 86049-970, Brazil; [3]Professora Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geologia e Geomatica, PR 86049-970, Brazil. *diva@idr.pr.gov.br

RESUMO

O nitrogênio é essencial para aumentar a produtividade do feijão e seu fornecimento com sustentabilidade é um desafio. Assim, o objetivo foi avaliar a economia gerada pela inoculação com *Rhizobium* em cultivares feijão do grupo Carioca e de tegumento preto, em plantio direto, em solo argiloso (Londrina=LDA e Ponta Grossa=PGZ) e arenoso (Wenceslau Braz=NRE). As cultivares inoculadas com maior produtividade e lucro foram: em solo argiloso (LDA) a IAPAR-31 (1793 kg ha^{-1}/US$458) e IPR-juriti (1727 kg ha^{-1}/US$431), e em solo argiloso (PG) a IPR-Colibri (2305 kg ha^{-1}/US$934), enquanto as de tegumento preto foram: em solo arenoso (NRE) IAPAR-44 (1755 kg^{-1}/US$538) e a IPR-Chopim (1663-2078 kg ha^{-1} kg ha^{-1}/US$538-US$760), em solo arenoso (NRE) e argiloso (PGZ), indicando a influência das condições edafoclimáticas na inoculação. Os indicadores econômicos mostram que a inoculação é mais rentável do que os fertilizantes nitrogenados, sugerindo ser uma opção ambiental e economicamente sustentável para os agricultores.

PALAVRAS-CHAVE: fixação biológica de nitrogênio; lucratividade; *Phaseolus vulgaris*; *Rhizobium freirei Rhizobium tropici.*

INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) é de grande importância para o Brasil que possui 2,5 milhões de hectares cultivados, e produtividade média de 1.176 kg/ha, enquanto o Paraná, maior produtor, alcançou 687 toneladas e 1.645 kg/ha (IBGE, 2024). O fornecimento de N é um dos principais desafios para aumentar a produtividade, pois, embora possa ser suprido pela mineralização da matéria orgânica e pela fixação biológica de N_2 (FBN), os custos com fertilizantes nitrogenados ainda são elevados.

No Brasil, a inoculação com estirpes selecionadas de rizóbios tem sido uma estratégia para melhorar a FBN, e para o feijão comum existem três estirpes recomendadas para produção de inoculante comercial, autorizadas pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, *Rhizobium tropici* (CIAT899=SEMIA 4077 e SEMIA 4088) e *R. freirei* (PRF81=SEMIA 4080). Embora os benefícios do uso da inoculação sejam conhecidos para o feijão comum (Hungria *et al*., 2000), sua eficácia pode variar devido às características do genótipo da planta, microsimbionte (rizóbio), fatores ambientais e sua interação (Yagi *et al*., 2015).

Nossa hipótese foi que os sistemas de produção de feijão comum utilizando inoculação com estirpes de rizóbios eficientes são mais produtivos e economicamente vantajosos que o uso de fertilizante N, além de serem mais sustentáveis. Portanto, os objetivos foram avaliar a resposta de cultivares de feijão comum, tipos comerciais "Carioca" e tegumento preto, à inoculação com estirpes selecionadas de *Rhizobium*, e analisar a economia gerada em diferentes condições de solo e clima.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi instalado nos municípios de Londrina (LDA) (23˚18' 37'' S; 51º 0,9' 46'' W), solo muito argiloso com a textura de 580 g kg -1 de argila, 190 g kg -1 de silte e 230 g kg -1 de areia, e clima subtropical úmido, do tipo *Cfa*, Wenceslau Braz (WB) (23º 38' 51,8''S; 52º 42' 33,9''W), solo arenosa com a textura de 130 g kg^{-1} de argila, 20 g kg^{-1} de silte e 850 g kg^{-1} de areia e clima subtropical úmido, do tipo

Cfa, e Ponta Grossa (PG) (25º 05' 58''S; 50º 09' 30''W), solo argiloso com textura de 680 g kg^{-1} de argila, 160 g kg^{-1} de silte e 160 g kg^{-1} de areia e clima subtropical úmido, do tipo *Cfb*, Paraná, sul do Brasil.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições em solo argiloso (LDA) e solo arenoso (WB), e com três repetições em solo argiloso (PG). Os tratamentos alocados nas parcelas foram: i) controle (sem inoculação e sem fertilizante nitrogenado), ii) fertilizante nitrogenado e iii) inoculado com *Rhizobium*, e nas subparcelas as seis (6) cultivares de feijão comum. Em solo argiloso (PG) houve um tratamento adicional inoculado com *Rhizobium* + fertilizante nitrogenado (25 kg N em cobertura).

Para analisar a economia gerada pela inoculação com estirpes selecionadas de *Rhizobium* em feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) foram utilizadas diferentes cultivares do tipo "Carioca" (Carioca, IAPAR-31, IAPAR-81, IPR-Saracura, IPR-Juriti, IPR-Colibri e Pérola) e de "Tegumento Preto" (IAPAR-44, IPR-Chopin, IPR-Uirapuru, IPR-Gralha, LP-99-96, IPR-Graúna e Chumbo). Em cada área experimental, amostras de solo foram coletadas antes da semeadura nas camadas de 0,0–0,2 m para análises químicas (Pavan et al., 1992) e de 0,0–0,1 m para estimar o número mais provável (NMP) de rizóbios (Andrade *et al*., 2002).

As estirpes de *Rhizobium* utilizadas foram obtidas da Coleção de Microrganismos (IPR) do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER. Em LDA e WB foi utilizada uma mistura de R. tropici na proporção 1:1 (SEMIA4077=CIAT899) e R. freirei (SEMIA4080=PRF81) e em solo argiloso (PG) foi utilizada uma mistura de estirpes de *Rhizobium* (IPR-580; -616; - 2604; -2608; -583; -589; -652). A concentração final de células viáveis dos inoculantes foi de aproximadamente 0,54 . 10^9 g de turfa. Em todos os tratamentos, o sulco de semeadura foi adubado com N :P:K (4-30-10), utilizando-se 175 kg ha^{-1} , em WB e em LDA, e em PG com dose de 280 kg ha^{-1} . No tratamento com N-fertilizante, a dose de 80 kg N ha^{-1} (ureia, 45% N) foi dividida em duas aplicações, 20 kg N ha -1 no sulco de plantio e 60 kg N ha^{-1} em cobertura, 20-23 dias após a emergência. As subparcelas de 4,0 m x 6,0 m (24 m2) tiveram oito linhas de 6 m de comprimento e espaçamento de 0,50 m.

No início da floração (V2) em LDA e WB e no final da floração (estágio R2) em PG, 4 a 7 plantas foram removidas de cada subparcela para avaliar a nodulação (número e massa seca de nódulos) e matéria seca e concentração de N na parte aérea e nos grãos. O rendimento de grãos foi determinado na maturidade fisiológica das plantas, utilizando quatro linhas centrais, com umidade corrigida para 13%. A eficiência relativa (ER) de cada cultivar para a resposta à inoculação com rizóbio foi calculada de acordo a equação descrita por Yagi et al., 2015.

Na análise econômica, foram considerados os custos de produção, a receita e o lucro de cada tratamento. Os custos incluíram serviços, insumos e coeficientes técnicos regionais para pulverização e colheita. A receita foi calculada com base na produtividade e no preço de venda na colheita, considerando também impostos, taxas, custos administrativos, assistência técnica e transporte. Os valores dos indicadores econômicos foram atualizados para novembro de 2024 pelo IPCA e convertidos para dólares com a taxa de câmbio do Banco Central do Brasil em 29 de novembro de 2024 (US$ 1 = R$ 6,053).

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No solo argiloso (LDA), a cultivar IAPAR 81 apresentou a maior eficiência relativa 108% em resposta à inoculação, porém com menor produtividade média 1452 kg ha^{-1} em comparação às demais cultivares. No solo arenoso (WB), o tratamento com fertilizante nitrogenado apresentou a maior produtividade média 1706 kg ha^{-1} de grãos sem diferenças em relação ao tratamento inoculado 1466 kg ha^{-1}, evidenciando o efeito positivo da inoculação com rizóbio, onde a cultivar IAPAR 44 obteve a maior produtividade com 1755 kg ha^{-1} , e foi a que apresentou maior eficiência relativa em resposta à inoculação 117%.

Em Londrina, a cultivar IAPAR-31 apresentou a maior produtividade (1884 kg ha^{-1}), diferindo estatisticamente das cultivares Carioca, IAPAR-81 e IPR-Saracura, o que indica que essa melhor resposta produtiva pode estar associada às suas características genéticas ou maior adaptação às condições adversas de solo e clima.

Em Ponta Grossa, a cultivar IPR Colibri apresentou a maior produtividade média (2.228 kg ha^{-1}), seguida da IPR Chopim com 2.084 kg ha^{-1}, e teve a maior eficiência relativa 109% para resposta à inoculação. Quando inoculada, a cultivar IPR-Colibri apresentou aumento em relação à testemunha de 336 kg ha^{-1} de grãos e 98 kg ha^{-1} com o tratamento com fertilizante nitrogenado. Enquanto a inoculação com rizóbio mais fertilizante nitrogenado em cobertura (25 kg ha^{-1}) aumentou em média 456 e 218 kg ha^{-1} em relação à testemunha e ao fertilizante nitrogenado, respectivamente. A produtividade de grãos do feijão comum não diferiu entre os tratamentos controle, inoculado com rizóbio e fertilizante nitrogenado, indicando que a simbiose ou o N disponível no solo foi suficiente para o potencial produtivo nas condições experimentais.

Em solo argiloso de Londrina, as cultivares influenciaram significativamente os indicadores econômicos, receita, custo de produção e lucro. A cultivar IAPAR 31 apresentou a maior receita (873 US$ ha^{-1}) e o maior lucro (448 US$ ha^{-1}). Comparado ao sistema de produção utilizando fertilizante N, com o uso do inoculante teve uma redução de 30% no custo de produção e um aumento no lucro de US$ 58. No entanto, os custos de produção foram altamente influenciados pelo uso de nitrogênio, sendo maiores nos tratamentos fertilizados, o que impactou negativamente o lucro. Isso indica que o aumento dos custos nos tratamentos nitrogenados não foi compensado pelo aumento da receita.

Em solo arenoso (Wenceslau Braz), os efeitos das fontes de N foram significativos na receita, demonstrando que o fertilizante N ou a inoculação impactaram positivamente a produtividade de grãos em algumas cultivares. No entanto, o efeito no lucro não foi significativo, sugerindo que o aumento nos custos de produção nos tratamentos com fertilizante N pode ter compensado os ganhos financeiros. A cultivar IPR-Chopim obteve os melhores resultados, registrando a maior receita (968 US$ ha^{-1}) e o maior lucro (540 US$ ha^{-1}). Ao comparar as fontes de N, o uso do inoculante teve um custo de produção 32% menor e um lucro de US$ 94 a mais quando comparado ao uso do fertilizante N.

Em Ponta Grossa, em solo argiloso, os efeitos das fontes de N foram significativos para todos os indicadores econômicos. Entre as cultivares, a IPR- Colibri destacou-se como a mais rentável, com maior receita (1347 US$ ha^{-1}) e maior lucro (830 US$ ha^{-1}), seguida pela cultivar IPR Chopim (US$ 704). Para as cultivares IPR Colibri e IPR Chopim, comparando os tratamentos inoculante e N-fertilizante , houve aumento no lucro de US$ 208 e US$ 240, respectivamente, enquanto com o uso de inoc + N-fertilizante como cobertura, esse aumento foi de US$ 27 e US$ 22, respectivamente. Isso demonstra que, no PG, a sinergia entre microrganismos fixadores de nitrogênio e fertilizante proporcionou melhor aproveitamento do nutriente pelas plantas. Não houve interação entre fontes de N e cultivares sobre os indicadores econômicos, receita, custo e lucro do cultivo do feijão comum nos três locais.

Nosso estudo mostra que os custos de produção do feijão são maiores nos tratamentos com fertilizantes nitrogenados, enquanto a inoculação reduz esses custos. O tratamento com fertilizantes nitrogenados gera a maior produtividade de grãos, mas também tem maior custo de produção e menor lucro, que variou conforme a localização. A inoculação de sementes de feijão gerou uma receita líquida de aproximadamente 16% e uma relação custo-benefício 8% maior que a fertilização nitrogenada.

Os resultados do nosso estudo indicam que a escolha da cultivar pode ser um fator determinante para atingir maior produtividade e lucro no cultivo do feijão comum. As cultivares IAPAR- 31 em solo argiloso (LDA), IPR- Chopim em solo arenoso (NRE) e IPR- Colibri em PG apresentaram os melhores desempenhos produtivos e econômicos. Em solo argiloso (LDA), a inoculação foi a estratégia mais vantajosa, pois manteve a produtividade sem influenciar negativamente os custos. Em solo arenoso (NRE), o fertilizante nitrogenado aumentou a receita, mas não necessariamente o lucro, mostrando que seu uso deve ser avaliado de acordo

com as condições edafoclimáticas para resposta da cultivar. Em solo argiloso (PG), a estratégia mais eficiente foi a combinação de inoculação de estirpes selecionadas de *Rhizobium* e fertilizante nitrogenado, em cobertura na dose de 25 kg de N, resultando nos maiores retornos financeiros. A inoculação com *Rhizobium* é uma prática muito importante para melhorar a disponibilidade de N para a planta e, consequentemente, aumentar a produtividade do feijão comum, além de contribuir para a sustentabilidade do sistema de produção.

CONCLUSÕES

As cultivares de feijão comum respondem de forma diferente à inoculação e à aplicação de fertilizantes nitrogenados, e às condições de solo e clima. A análise econômica mostra que a inoculação com rizóbios é mais rentável do que N-fertilizantes. A ausência de interação significativa entre cultivares e fontes de N sugere que os efeitos desses fatores são independentes, ou seja, a estratégia na seleção de cultivares deve ser priorizar o uso eficiente da FBN, que é uma opção econômica e ambientalmente sustentável.

AGRADECIMENTOS

FO reconhece bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (001). TST (315456/2023-0) e DSA (310528/2023-2) também são bolsistas de pesquisa do CNPq. Os autores agradecem Mauro Sanches Parra, Nelson da Silva Fonseca, Inês Fumiko Ubukata Yada pelas sugestões e Aresmundinei D. Campos e Marcio Siqueira *in memorium* por ajudar nos experimentos de campo.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, D. S., MURPHY, P. J., AND GILLER, K. E. (2002). Effects of liming and legume/cereal cropping on populations of indigenous rhizobia in an Brazilian oxisol. **Soil Biol**. Biochem 34, 477-485. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00206-1

HUNGRIA, M., ANDRADE, D. S., CHUEIRE, L. M. D. O., PROBANZA, A., GUTTIERREZ-MANERO, F. J., AND MEGIAS, M. (2000). Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (Phaseolus vulgaris L.) rhizobia from Brazil. **Soil Biol. Biochem** 32, 1515-1528. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00063-8

IBGE (2024). **Informações agropecuárias**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (In Portuguese). Vol. 2024.

PAVAN, M. A., BLOCH, M. F., ZEMPULSKI, H. D., MIYAZAWA, M., AND ZOCOLER, D. C. (1992). **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. *In* "Circular, 76" (IAPAR, ed.), pp. 40 Instituto Agronômico do Paraná Londrina.

YAGI, R., ANDRADE, D. S., WAURECK, A., AND GOMES, J. C. (2015). Nodulations and grain yields of common beans in response to nitrogen fertilization or seed inoculation with Rhizobium freirei. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39, 1661-1670. http://dx.doi.org/10.1590/0100068rbcs20140342

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVALIAÇÃO TEMPORAL DO EFEITO DO TERRACEAMENTO AGRÍCOLA NAS PROTEÍNAS DO SOLO RELACIONADAS À GLOMALINA

Kauane Victória Szemocoviaki[1*], Lethicia Bueno da Silva[2], Rafael Mazer Etto[3], Neyde Fabíola Balarezo Giarola[4], Carolina Weigert Galvão[3]

[1] Estudante de graduação, Lab. Biologia Molecular Microbiana (LABMOM), Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), *kauanevictoria925@gmail.com; [2] Estudante de mestrado, LABMOM, UEPG; [3] Professor(a) e pesquisador(a), LABMOM, UEPG
[4] Professor(a) e pesquisador(a), Laboratório de Física do Solo, UEPG

RESUMO

O plantio direto e o terraceamento são práticas agrícolas conservacionistas amplamente reconhecidas por promoverem a preservação do solo, a sustentabilidade dos sistemas produtivos, e ainda a melhoria da produtividade agrícola. Com o objetivo de avaliar o efeito temporal do terraceamento nas Proteínas do Solo Relacionadas à Glomalina (PSRG), amostras de solo de duas áreas sob plantio direto com e sem terraço implantadas na Fazenda escola da UEPG, foram coletadas anualmente, de 2020 a 2023, após a cultura de verão. A análise do conteúdo de PSRG Total e Facilmente Extraível revelou que esse atributo é sensível à prática do terraceamento. Observou-se que a área com terraço apresentou uma microbiota mais estável, já que os valores de PSRG não se alteraram ao longo dos 4 anos avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; saúde do solo; indicadores biológicos.

INTRODUÇÃO

A agricultura sustentável enfrenta desafios significativos, exigindo práticas que conservem os recursos naturais e promovam a recuperação da biodiversidade (Altieri, 2002; Andrades; Gramini, 2007). A conservação do solo é fundamental nesse contexto, sendo alcançada por meio de técnicas como agrofloresta, plantio direto, cultivo de cobertura e terraceamento agrícola. Essas práticas buscam minimizar processos como erosão e escoamento superficial, melhorando a produtividade e a sustentabilidade dos agroecossistemas (Deuschle *et al*., 2019; Didoné *et al*., 2014). O terraceamento agrícola, por exemplo, é uma técnica eficaz no controle da erosão, pois facilita a infiltração da água no solo, reduzindo o transporte de sedimentos e a perda de nutrientes (Machado; Wadt, 2017). A implementação integrada de diversas estratégias de conservação do solo se mostra ainda mais eficiente para a sustentabilidade agrícola (Magalhães, 2006). Os indicadores biológicos do solo são altamente sensíveis às perturbações ambientais e tem se mostrado uma ferramenta essencial na detecção precoce dos impactos do manejo agrícola (Abbott; Murphy, 2003). Essas variações biológicas refletem as interações entre organismos do solo e suas funções ecológicas, permitindo uma análise detalhada das condições ambientais e da saúde do solo (Barrios, 2007; Bastida *et al*., 2008; Garbisu *et al*., 2007; da Silva Souza *et al*., 2014; Mothersill; Seymour, 2016).

Entre esses indicadores, destacam-se as proteínas relacionadas a glomalina dos fungos micorrízicos arbusculares. Essas glicoproteínas desempenham um papel crucial na agregação das partículas do solo, contribuindo para sua estabilidade e fertilidade (Rillig *et al*., 2003). Diante disso, para monitorar o impacto do manejo na saúde do solo, foi avaliado o teor de proteínas associadas à glomalina ao longo de quatro anos após a implantação do terraceamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano de 2020 a 2023 na Fazenda Escola “Capão da Onça” da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), região dos Campos Gerais. A área de estudo é composta por uma extensão de 3,08 ha^{-1} em uma microbacia hidrográfica no Alto Rio Tibagi, subdividida em duas áreas de 1,604 ha^{-1} e 1,476 ha^{-1}, variando os tratamentos: (CT) área sob sistema de plantio direto com terraços e (ST) área sob sistema de plantio direto sem terraços, respectivamente. Cada unidade possui 36 pontos em sua extensão para coletas de solo. Para o tratamento (CT) 6 terraços de infiltração (em nível) são distribuídos em sua extensão. Fechados em suas extremidades de base média.

A coleta de solo ocorreu em junho de 2020, 2021, 2022 e 2023, após a retirada da cultura de verão. Dessa forma, 36 pontos foram coletados por áreas, totalizando 72 amostras no total. Para cada ponto indicado uma amostra deformada foi coletada na camada de 0 – 10cm do solo.

A extração das proteínas relacionadas a glomalina (Total e Facilmente Extraível) foi realizada seguindo o procedimento de Wright e Upadhyaya (1998) e a quantificação da proteína foi feita pelo método de Bradford (BRADFORD, 1976). A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Diante da não conformidade com a distribuição normal, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$), seguido da análise por box plot para visualização gráfica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo dos 4 anos de avaliação, PSRG- FE variou entre 0,296 a 3,628 mg g-1 solo, enquanto os valores de PSRG - T variaram entre 1,22 á 7,98 mg g-1 solo. Os valores da PSRG-FE foram menores porque a fração facilmente extraível representa depósitos mais recentes e sensíveis à degradação, e a PSRG -T, está associada a frações mais persistentes da matéria orgânica do solo (Rillig & Mummey, 2006).

Em 2020, os níveis de PSRG-FE não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos CT e ST, indicando condições iniciais semelhantes entre os sistemas de manejo. No ano seguinte, em 2021, observou-se um aumento expressivo nos teores de PSRG-FE no tratamento CT, embora com grande variação, enquanto o tratamento ST manteve valores mais baixos e estáveis. Em 2022, a diferença entre os tratamentos persistiu, com o CT apresentando níveis elevados; no entanto, foi o tratamento ST que exibiu maior variação nos valores. Em 2023, ambos os tratamentos demonstraram um aumento substancial nos teores de PSRG-FE, mas sem diferença estatística entre eles,

Quanto aos teores de PSRG-T, a tendência observada seguiu a mesma direção dos valores de PSRG-FE. Em 2020, não houve diferença significativa entre os tratamentos CT e ST. Em 2021, apesar de não ter sido registrada mudança significativa, os níveis de PSRG-T no tratamento CT foram ligeiramente superiores aos do ST. Em 2022, os teores de PSRG-T no tratamento CT continuaram mais elevados que os do ST, sem alteração em relação ao ano anterior. Em 2023, ambos os tratamentos apresentaram aumento expressivo nos níveis de PSRG-T, sem diferença estatística entre eles.

Borie *et al*. (2006) observaram concentrações mais elevadas dessa proteína em solos sob plantio direto (7,2 mg g^{-1} de solo) em comparação com solos sob preparo convencional (5,8 mg g^{-1} de solo), indicando que mudanças no uso do solo podem influenciar significativamente as concentrações das frações de glomalina em áreas produtivas. No presente estudo, o terraceamento induziu variações nos teores de proteína do solo relacionada à glomalina nos segundos e terceiros anos de avaliação. No entanto, no quarto ano, observou-se um aumento expressivo nos teores de proteína do solo em ambas as áreas, sugerindo que a prática do plantio direto, adotada em ambos os tratamentos, pode ter favorecido a maior estabilidade do solo, contribuindo para a melhoria de sua qualidade.

CONCLUSÕES

Os teores de proteína do solo relacionada a glomalina (PSRG) se mostraram sensíveis para indicar e diferenciar os manejos nas áreas estudadas nos quatro anos de avaliação. O plantio direto associado ou não ao terraceamento favoreceu o acúmulo de PSRG ao longo do tempo. Para uma avaliação mais precisa da saúde do solo nas duas áreas avaliadas, os teores de PSRG - FE e PSRG - T devem ser avaliados conjuntamente com outros atributos biológicos e em associação com atributos químicos e físicos.

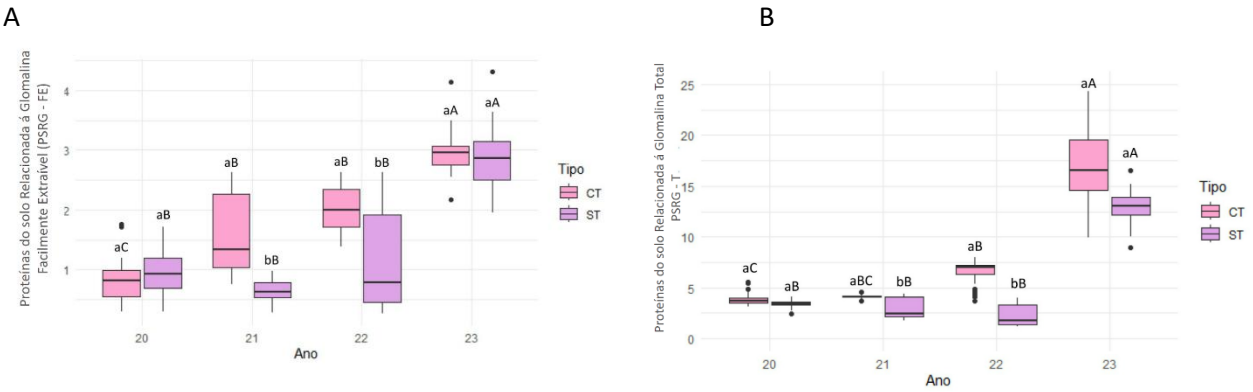


Figura 1: Teores de Proteína do Solo Relacionada à Glomalina (PSRG). **(A)** A PSRG Facilmente Extraível e **(B)** PSRG Total foram avaliadas de 2020 a 2023 de áreas com plantio direto com e sem terraceamento agrícola.
Legenda: As letras minúsculas comparam as áreas com e sem terraço em cada ano, enquanto as letras maiúsculas comparam a mesma área entre os anos. Letras distintas indicam diferença estatística significativa pelo teste de Dunn ($p<0,05$). CT - com terraço, ST - sem terraço. Unidade utilizada na análise (mg/ g solo).

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação (NAPI) Prossolo, aos meus orientadores e toda equipe do Laboratório de Biologia Molecular Microbiana (LABMOM).

BIBLIOGRAFIA

ABBOTT, L.K; MURPHY, D.V. Soil biological fertility: A key to sustainable land use in agriculture. Springer Science & Business Media, 2003.

ALTIERI, M. A. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrários sustentables. *In:* SARANDON, S. J. Agroecología: el caminho hacia una agricultura sustentable. Buenos Aires – La Plata, 2002.

BERTOL, Ildegardis *et al*. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 133-142, 2007

BARRIOS, Edmundo. Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecological economics, v. 64, n. 2, p. 269-285, 2007.

BASTIDA, Felipe *et al*. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. Geoderma, v. 147, n. 3-4, p. 159-171, 2008.

CARVALHO, M. M. Avaliação do solo de áreas mineradas em recuperação dentro do bioma amazônico por meio da relação entre morfometria de agregados do solo e teor de glomalina. 108f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2021.

DIDONÉ, E. J. *et al*. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large 12 catchments in Southern Brazil. Journal of Soils and Sediments, v. 14, 1287–1297, 2014

GARBISU, C. *et al*. Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. Ecosistemas, v. 16, n. 2, 2007.

LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfiso: Water runoff, soil-erosion, and nutrient loss. Agroforestry Systems, v. 8, 97-111, 1989

Machado, A. R.; Wadt, P. G. S. O terraceamento agrícola como técnica eficaz no controle da erosão: implicações para a infiltração de água no solo e conservação de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, p. e0170247, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbcs20170247.

STÖCKER, C. M.; MONTEIRO, A. B.; BAMBERG, A. L.; CARDOSO, J. H.; LIMA, A. C. R. de. Diagnóstico das condições químicas do solo sob sistemas agroflorestais. Anais da Semana Integrada de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 3, Pelotas: UFPel, 2017

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalin an arbuscularmycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. Plant and Soil, The Hague, 2: 293-299, 2003

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. New Phytologist, v.171, p.41-56, 2006.

WRIGHT, S.F; UPADHYAYA, A.M. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant and soil, v. 198, n. 1, p. 97-107, 1998.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

FUNÇÕES DE PEDOTRASFERÊNCIA PARA ESTIMAR DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO COM BASE NO MÉTODO *VESS* EM UM SOLO ARGILOSO

Esmailson Moreira dos Santos[1*], Cezar Augusto Medeiros Rebouças[2], Samienta Charles[1], Rachel Muylaert Locks Guimarães[3]

[1] Pós-graduando(a), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. [2] Pós-Doutorando, UTFPR. [3] Professora Associada, Departamento de Ciências Agrárias, UTFPR. [*] esmailson@alunos.utfpr.edu.br.

RESUMO

A Avaliação Visual da Estrutura do Solo, *VESS*, pode ser usada como uma ferramenta rápida e confiável para a estimativa indireta da densidade do solo, ρ, e da resistência à penetração, *RP*, a partir de funções de pedotransferência, *FPT*. Nessa perspectiva, foram avaliadas *FPT*s para aprimorar e facilitar a estimativa dessas propriedades físicas do solo. Foram correlacionadas as notas de qualidade estrutural do solo, *Qe*, atribuídas pelo método *VESS*, com a ρ e a *RP* a partir do modelo de regressão linear generalizado, que foram então introduzidas ao modelo de Busscher de ajuste da *RP*. Com base nos resultados, observou-se que a *RP* é a propriedade com maior variabilidade, principalmente para as *Qe* mais altas, resultando em uma *FPT* menos robusta. A *FPT* para estimativa da ρ apresentou os melhores resultados, em função da sua menor dependência com outras propriedades do solo.

PALAVRAS-CHAVE: análise visual; estrutura do solo; saúde do solo.

INTRODUÇÃO

A densidade do solo, ρ, e a resistência do solo à penetração, *RP*, são propriedades que fornecem informações essenciais sobre a saúde do solo, orientando a adoção das práticas de manejo. A ρ corresponde à relação entre a massa do solo pelo volume que ele ocupa, influenciando diretamente a capacidade das raízes de crescer e penetrar, bem como a disponibilidade de água e nutrientes (Reinert *et al.*, 2008; Makovníková *et al.*, 2017; Sainju *et al.*, 2022). Por outro lado, a *RP* indica a força necessária que raízes precisam exercer para crescer através do perfil de solo, sendo, diretamente, dependente da ρ e do conteúdo de água (Jamali *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022).

A Avaliação Visual da Estrutura do Solo, *VESS*, é um método eficaz para avaliar a qualidade estrutural do solo, destacando-se por sua facilidade e agilidade na determinação em campo. Guimarães *et al.* (2013) e Lin *et al.* (2022) compararam esse método com diferentes propriedades físicas do solo, encontrando uma boa correlação com a ρ e a *RP*. Essas observações estão alinhadas com o método visual, corroborando e validando seu uso como um método semiquantitativo confiável e complementar para avaliar a saúde do solo.

As funções de pedotransferência, *FPT*, são ferramentas poderosas para estimar propriedades do solo com base em outras de determinação mais simples. Dada a facilidade e simplicidade do método *VESS*, juntamente com sua boa correlação com a ρ e a *RP*, seu uso como parâmetro para estimar essas propriedades é uma abordagem promissora.

Face ao exposto, temos que a nota da qualidade estrutural do solo atribuída pelo método *VESS* pode ser usada como parâmetro confiável para estimar a ρ e a *RP* a partir de *FPT*. Portanto, os objetivos para esta pesquisa foram avaliar e validar as *FPT*s para a estimativa dessas propriedades físicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas 60 amostras indeformadas em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico (textura muito argilosa – 76,5% de argila, 17,6% de silte e 5,9% de areia) com cilindros de volume interno conhecido. Essas amostras foram coletadas em função da nota de qualidade estrutural do solo, *Qe*, pelo método *VESS*

atribuída no momento da amostragem, sendo 50 provenientes de área de lavoura (10 para cada *Qe*) e 10 de área de mata nativa, para fins de comparação.

Inicialmente, as amostras foram saturadas por capilaridade e em seguida, para determinação da *RP*, foram equilibradas nos potenciais mátricos de -3, -6 e -10 kPa, em mesa de tensão, e por mais dois eventos progressivos de secagem ao ar com intervalos de 48 h cada, realizando-se 5 ensaios em cada amostra em pontos espaçados equidistantes, totalizando 300 observações. Antes de cada ensaio, as amostras eram pesadas para determinação da massa de solo "úmido" naquele instante, *m*. Por fim, as amostras eram secas em estufa a 105°C por 48 h e pesadas novamente para obtenção da massa de solo seco, m_s. A ρ foi calculada para cada amostra pela razão da m_s e o volume total de solo (sólidos e poros do solo), *V*, ($\rho = m_s : V$).

Para a correlação entre a *Qe* (adotada como variável independente) e a ρ e a *RP* (como variáveis dependentes), os dados foram submetidos ao modelo de regressão linear generalizado, *GLM*, no ambiente R utilizando o software RStudio (versão 2024.4.2.764). Foi adotada a distribuição gaussiana (normal) e uma função de ligação identidade, que relaciona diretamente a média da variável dependente com a combinação linear das variáveis independentes. As *FPT*s foram elaboradas combinando os modelos obtidos pelo *GLM* com o modelo da *RP* proposto por Busscher (1990) (Equação 1).

$$RP = a\ \theta^{b}\ \rho^{c} \rightarrow \text{(MPa)} \qquad (1)$$

em que: ρ é expresso em g cm^{-3}; θ corresponde ao conteúdo de água no solo à base de volume [$= U\ \rho$, onde $U = (m\text{-}m_s)/m_s$]; e *a*, *b* (negativo) e *c* (positivo) são parâmetros empíricos desta equação (adimensionais).

O desempenho (ou precisão) das *FPT*s foi avaliado estatisticamente a partir do coeficiente de determinação, R^2, da raíz do erro quadrático médio, *RMSE*, e do erro médio absoluto, *MAE*. O índice de concordância de Willmott, *d*, (Willmott, 1981) foi utilizado para comparação entre as *FPT*s e o modelo original de Busscher (1990), este último adotado como padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os coeficientes para as correlações da ρ e da *RP* em função da *Qe*, ou seja, $\rho = f(Qe)$ e $RP = f(Qe)$, ajustados pelo *GLM*, e para o ajuste dos dados pelo modelo de Busscher (1990) (Equação 1). Para as três funções, os coeficientes angulares foram significativos a 0,1% de probabilidade, rejeitando a hipótese nula (p-valor < 0,05), portanto, os modelos são robustos e confiáveis para análise das correlações propostas. Os resultados para a função $\rho = f(Qe)$ e para a equação 1 apresentaram boa correlação, explicando 77% e 70% da variabilidade dos dados, respectivamente; no entanto, a função $RP = f(Qe)$ só explicou 30% da variabilidade dos dados. As notas para *Qe* pelo método *VESS* variam de 1 a 5 ("muito boa" a "muito pobre", respectivamente), podendo ser uma faixa muito pequena para uma faixa muito ampla da *RP*, justificando a maior variabilidade dessa propriedade. Tormena *et al.* (2007) afirmam que a maior variabilidade da *RP* também se deve ao gradiente do θ e da ρ.

As *FPT*s e os seus parâmetros de desempenho são apresentados na tabela 2. É verificado que a *FPT* para a estimativa da ρ foi a que apresentou maior confiabilidade, devido aos menores valores do *RMSE* e do *MAE* (0,164 e 0,136, respectivamente), em detrimento à *FPT* para a estimativa da *RP* (1,041 e 0,765, respectivamente). Esses resultados estão alinhados com a análise de correlação obtidos pelo *GLM* (Tabela 1) e corroboram com a análise gráfica da relação entre os valores observados e preditos para ambas as propriedades (Figuras 1a e 1b). Perceba que a dispersão entre os dados observado *vs* preditos da *RP* (Figura 1b) é maior em comparação com a correlação entre os dados da ρ (Figura 1a). A maior variabilidade da *RP* se dá principalmente para os valores mais altos, a qual, estão diretamente relacionados com as notas mais altas da *Qe* (4 e 5). Johannes *et al.* (2019) revelaram que as *Qe* pelo método *VESS* são sensíveis à variação na

qualidade física do solo, mas perceba que para a *Qe* 1, 2 e 3, a faixa da *RP* abaixo do seu valor limitante é muito menor quando comparamos com a gama de valores que a *RP* pode ser obtida para *Qe* variando de 4 a 5, justificando, portanto, essa maior variabilidade dos dados para as *Qe* mais altas.

Diferente da tendência que observamos para o *RMSE* e *MAE*, o índice-*d* de Willmott (Tabela 2) apresentou excelente concordância para a *FPT* de estimativa da *RP* e boa-moderada concordância para *FPT* de estimativa da ρ. Esse índice é uma medida de concordância, na qual, adotou-se o modelo de Busscher (1990) como padrão. A correlação entre as *FPT*s e o modelo de Busscher (1990) para ambas as propriedades é apresentada graficamente na figura 1c. A alta variabilidade pode ser atribuída a fatores intrínsecos das amostras, como a compactação e o θ, no entanto, o elevado índice-*d* sugere que, mesmo com a variabilidade presente, o modelo conseguiu capturar de maneira eficaz as tendências gerais dos dados observados.

Tabela 1. Estimadores dos parâmetros para as correlações das propriedades físicas do solo.

Parâmetro estimado		Erro padrão	t valor	Probabilidade[(1)]
		ρ = f(Qe)		
intercepto	0,786	0,032	24,410	0,001
coeficiente angular	0,151	0,011	14,350	0,001
R^2	0,777			
		RP = f(Qe)		
Intercepto	0,010	0,151	0,069	0,945
coeficiente angular	0,569	0,050	11,483	0,001
R^2	0,304			
		Busscher (1990)		
a	0,036	0,008	4,659	0,001
b	-2,864	0,154	-18,557	0,001
c	4,590	0,226	20,354	0,001
R^2	0,702			

[(1)] Probabilidade de significância para os valores estimados dos parâmetros.

Tabela 2. *FPT*s e parâmetros de desempenho.

FPT	*RMSE*	*MAE*	*d*
$\rho = [(0{,}010 + 0{,}569\ Qe) / 0{,}036\ \theta^{-2,864}]^{1/4,590}$	0,164	0,136	0,588
$RP = 0{,}036\ \theta^{-2,864}\ (0{,}786 + 0{,}151\ Qe)^{4,590}$	1,041	0,765	0,752

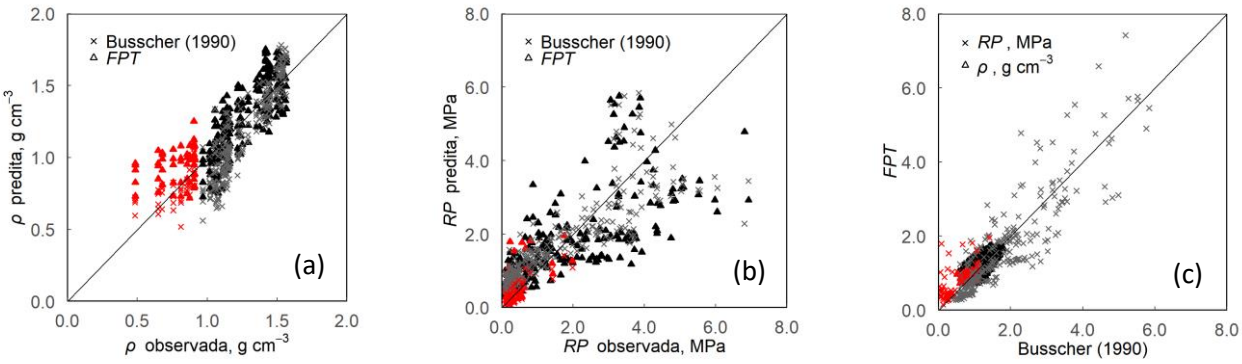


Figura 1. Diagramas de dispersão: (a) ρ observada *vs* predita; (b) *RP* observada *vs* predita; e (c) modelo de Busscher (1990) *vs* as propriedades preditas pelas respectivas *FPT*s. Pontos em vermelho para área de mata nativa e pontos em escala de cinza para área de lavoura.

CONCLUSÕES

Os modelos ajustados pelo *GLM* e pelo modelo de Busscher (1990) mostraram-se robustos e confiáveis para analisar as correlações propostas entre a ρ e a *RP* em função da *Qe*.

As *FPT*s apresentaram boa performance para a estimativa das propriedades do solo, com melhores resultados para a *FPT* de estimativa da ρ.

A *FPT* para a estimativa da *RP* foi a que mais se aproximou do modelo original de Busscher (1990).

AGRADECIMENTOS

À UTFPR – campus Pato Branco, como instituição de formação, e à CAPES (Código de Financiamento 001), pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transaction of the ASAE**, v. 33, p. 519-524, 1990.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, C. A.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 92-99, 2013.

JAMALI, H.; NACHIMUTHU, G.; PALMER, B.; HODGSON, D.; HUNDT, A.; NUNN, C.; BRAUNACK, M. Soil compaction in a new light: Know the cost of doing nothing – A cotton case study. **Soil and Tillage Research**, v. 213, p. 105158, 2021.

JOHANNES, A.; WEISSKOPF, P.; SCHULIN, R.; BOIVIN, P. Soil structure quality indicators and their limit values. **Ecological Indicators**, v. 104, p. 686-694, 2019.

LIN, L.; DE PUE, J.; VIVANCO, A. K. M.; VAN DER BOLT, F.; CORNELIS, W. Visual assessment of soil structural quality across soil textures and compaction levels – Part I: Examination of intact soil cores. **Geoderma**, v. 426, p. 116099, 2022.

MAKOVNÍKOVÁ, J.; ŠIRÁŇ, M.; HOUŠKOVÁ, B.; PÁLKA, B.; JONES, A. Comparison of different models for predicting soil bulk density. Case study – Slovakian agricultural soils. **International Agrophysics**, v. 31, p. 491-498, 2017.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

SAINJU, U. M.; LIPTZIN, D.; JABRO, J. D. Relating soil physical properties to other soil properties and crop yields. **Scientific Reports**, v. 12, p. 22025, 2022.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 211-219, 2007.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.

ZHANG, Z.; YAN, L.; WANG, Y.; RUAN, R.; XIONG, P.; PENG, X. Bio-tillage improves soil physical properties and maize growth in a compacted Vertisol by cover crops. **Soil Science Society of America Journal**, v. 86, p. 324-337, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERDAS DE CARBONO ORGÂNICO NOS SEDIMENTOS ERODIDOS EM DIFERENTES MANEJOS AGRÍCOLAS

Heverton Fernando Melo[1*], Fabrício Tondello Barbosa[2], Neyde Fabíola Balarezo Giarola[2], Eduardo Augusto Agnellos Barbosa[2], Rodrigo Golembiouski Amaral[3]

[1]Pesquisador de Pós-doutorado; [2]Professor; [3]Estudante de Graduação; Universidade Estadual de Ponta Grossa.

*hevertonfernando@gmail.com

RESUMO

A perda de carbono orgânico (PCO) associada à agricultura intensiva reduz a eficiência dos sistemas de produção e diminui a qualidade do solo, sendo intensificada nas áreas sujeitas à erosão hídrica. O estudo objetivou quantificar as PCO em diferentes manejos do solo sob condição de chuva simulada, ao longo de dois anos. O experimento foi conduzido em área experimental com parcelas de 3,5 x 11 m, no delineamento de blocos casualizados com três repetições e quatro tratamentos: i) solo sem cobertura vegetal (SSC); ii) plantio direto com rotação de culturas (ROT); iii) plantio direto com sucessão de culturas (SUC); e iv) plantio direto escarificado com sucessão de culturas (ESC). Durante o escoamento foram amostradas a vazão e a concentração de sedimentos no fluxo para determinação das PCO. A ROT foi o tratamento mais eficaz na redução das PCO por erosão. No geral, o controle das PCO foi superior a 99% em todos os tratamentos cultivados comparados ao SSC.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; erosão hídrica pluvial; matéria orgânica; plantio direto.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica pluvial é resultante da ação conjunta do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial sobre o solo, caracterizando-se como um processo físico de degradação, com perdas de solo e carbono orgânico (CO) que podem restringir o uso agrícola das terras (Hudson, 1995; Wang *et al.,* 2013). As perdas de CO nos sedimentos erodidos são aumentadas em áreas submetidas ao cultivo intensivo, cobertura ineficiente e preparo do solo, podendo ocorrer tamanhos distintos de sedimentos no escoamento superficial, variando assim o teor de CO nos sedimentos (Bertol *et al.,* 2007; Cole *et al.,* 2006).

Assim, uma das maneiras mais eficazes para reduzir a degradação dos solos por erosão hídrica, bem como na redução das perdas de CO em áreas agrícolas, é pela adoção de sistemas conservacionistas, baseados nas premissas de ausência de revolvimento do solo, como no caso do plantio direto, manutenção permanente da cobertura do solo e diversificação de espécies, preferencialmente via rotação de culturas (Dos Santos *et al.,* 2017; Lima *et al.,* 2015). Tais ações proporcionam o aumento da proteção física do solo, diminuindo a sua suscetibilidade à erosão (Pinheiro *et al*., 2018).

Por outro lado, a ausência de rotação de culturas, a cobertura insuficiente e a compactação excessiva do solo são recorrentes em áreas de plantio direto. Devido ao agravamento da degradação dos solos, agricultores têm recorrido ao uso de escarificadores para descomapctar o solo e aumentar a infiltração de água, embora a eficácia dessa prática seja questionável (Denardin *et al.,* 2014). Diante disso, e considerando a relevância do tema no contexto ambiental e das mudanças climáticas, torna-se essencial a realização de estudos sobre erosão hídrica em solos e manejos regionais, incluindo a quantificação das perdas de carbono orgânico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob chuva simulada em uma área experimental na Fazenda Escola “Capão da Onça”, da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), situada na região dos Campos Gerais, PR. O solo é um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, com teores médios de 438, 140 e 422 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente, na camada de 0-0,2 m. No local foram instaladas parcelas com dimensões de

3,5 x 11 m para estudos de erosão com chuva simulada (Merten *et al.,* 2016). Para isso, utilizou-se um aparelho simulador de chuva de braços rotativos tipo empuxo, que cobre simultaneamente duas unidades experimentais (Bertol *et al.,* 2012).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, constituído por quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram: solo não cultivado, mantido permanentemente descoberto e mobilizado duas vezes ao ano com arado e grade (SSC); plantio direto com rotação de culturas na sequência consórcio de plantas de cobertura de inverno (aveia preta, nabo forrageiro e ervilha forrageira) – milho – trigo – soja (ROT); plantio direto com sucessão de culturas na sequência cereais de inverno (cevada ou trigo) – soja (SUC); e plantio direto submetido à escarificação do solo em sucessão de culturas na sequência cereais de inverno (cevada ou trigo) – soja (ESC).

No primeiro ano de avaliação com aplicação das chuvas (inverno/2021 e verão/2021-2022), o tratamento ROT foi cultivado com consórcio de plantas de cobertura no inverno e, posteriormente, com milho no verão, enquanto os tratamentos SUC e ESC foram cultivados com cevada no inverno e soja no verão. Já no segundo ano de avaliação experimental (inverno/2022 e verão/2022-2023), todos os tratamentos foram cultivados com trigo no inverno e soja no verão.

Os eventos de chuva foram planejados considerando o desenvolvimento das culturas, abrangendo os estágios inicial (época I), vegetativo (época II) e reprodutivo (época III) do ciclo das plantas. As chuvas simuladas iniciaram em setembro de 2021, totalizando 12 eventos distribuídos ao longo de quatro cultivos. Cada chuva teve duração de 90 minutos, com intensidade média planejada variando de 80 mm h^{-1} (inverno/2021 e verão/2021-2022) a 100 mm h^{-1} (inverno/2022 e verão/2022-2023), resultando em uma lâmina total de precipitação de 120 e 150 mm, respectivamente.

Durante o escoamento superficial foram realizadas amostragens da vazão e coleta de amostras para determinação da concentração de sedimentos e posterior análise do CO. Os teores de CO nos sedimentos erodidos foram determinados pelo método de Walkley-Black (Walkley e Black, 1937). Em seguida, multiplicou-se o valor da perda de solo de cada parcela pelo teor médio de CO nos sedimentos, extrapolando-se o valor obtido para um hectare.

As perdas de CO foram transformadas utilizando a função log (x+1) para atender às pressuposições de normalidade dos dados e homocedasticidade das variâncias. Os valores foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste SNK ($p<0,05$). O arranjo fatorial foi empregado para verificar o efeito dos tratamentos, das épocas e da interação entre tratamento e época.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As perdas de carbono orgânico (PCO) nos sedimentos erodidos foram influenciadas pelo manejo do solo (Tabela 1). O tratamento solo sem cobertura (SSC) apresentou as maiores PCO em todas as épocas, cultivos e no total acumulado, diferindo significativamente ($p<0,05$) dos demais tratamentos.

A ausência de culturas e de cobertura por resíduos na superfície, somada ao preparo do solo realizado duas vezes ao ano, intensificou o processo erosivo, elevando as perdas de solo e, consequentemente, as PCO no SSC. Esse efeito é potencializado pela facilidade de remoção da fração coloidal do solo e do CO, que, devido ao menor tamanho e à baixa densidade, são facilmente transportados após o preparo (Souza *et al*., 2019; Silva *et al*., 2005; Bertol *et al.,* 2004a). No acumulado, os tratamentos cultivados reduziram em mais de 99% as PCO em relação ao SSC.

No cultivo de inverno (2021), em todas as épocas, a ROT apresentou as menores PCO, diferindo significativamente dos demais tratamentos, exceto na época III, quando não houve diferença em relação ao ESC. No acumulado desse cultivo, a ROT apresentou as menores perdas (17,38 kg ha^{-1}), representando 0,3%, 16% e 18% das PCO observadas nos tratamentos SSC, ESC e SUC, respectivamente (Tabela 1). De acordo com Lehtinen *et al.* (2014) e Santos *et al.* (2008), as menores PCO na ROT devem-se a maior cobertura do solo por

resíduos culturais, que atua como barreira física tanto ao impacto das gotas de chuva quanto ao transporte de sedimentos ricos em CO.

Tabela 1 – Perdas de carbono orgânico nos sedimentos erodidos em diferentes épocas de chuva simulada (I, II e III) durante quatro cultivos: inverno (2021), verão (2021/2022), inverno (2022) e verão (2022/2023) nos manejos: SSC- solo sem cobertura; ROT- plantio direto com rotação de culturas; SUC- plantio direto com sucessão de culturas; ESC- plantio direto com sucessão de culturas e submetido a escarificação do solo. Ponta Grossa, 2025.

Época	SSC	ROT	SUC	ESC
	Perda de carbono orgânico (kg ha^{-1})			
			Inverno – safra 2021	
I	1.100,68 a A	14,78 c A	64,05 b A	80,85 b A
II	2.544,53 a A	2,50 c B	25,31 b A	25,17 b A
III	2.104,67 a A	0,10 c C	8,18 b B	0,07 c B
Acumulado	5.749,88 a	17,38 c	97,54 b	106,09 b
			Verão – safra 2021/22	
I	1.760,67 a A	11,47 b A	4,53 b A	0,00 c A
II	3.169,80 a A	1,67 b A	1,63 b AB	0,00 b A
III	2.260,87 a A	0,60 b A	0,00 b B	0,23 b A
Acumulado	7.191,34 a	13,74 b	6,16 b	0,23 c
			Inverno – safra 2022	
I	2.666,23 a A	0,93 c A	6,13 b A	4,06 b A
II	3.908,93 a A	1,97 b A	1,90 b B	4,13 b A
III	3.361,77 a A	0,53 b A	1,43 b B	2,33 b A
Acumulado	9.936,93 a	3,43 b	9,46 b	10,52 b
			Verão – safra 2022/23	
I	2.658,87 a B	1,77 b A	7,07 b A	2,73 b A
II	4.483,0 a A	1,70 c A	11,23 b A	0,77 c A
III	1.953,23 a B	0,43 b A	1,40 b A	0,23 b A
Acumulado	9.095,10 a	3,90 c	19,70 b	3,73 c
TOTAL	31.973,25 a	38,45 c	132,86 b	120,57 b

I; II; e III: Chuvas simuladas realizadas após a emergência das plantas, no período vegetativo e no período reprodutivo, respectivamente. Letras seguidas por mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste SNK ($p<0,05$).

Nos cultivos subsequentes, houve uma redução nas PCO em todos os tratamentos com cobertura vegetal em comparação ao primeiro cultivo. No cultivo de verão (2021/22), o tratamento ESC não apresentou PCO nas épocas I e II. Para este tratamento, na época I, a proporção de solo perdida foi baixa, não sendo possível quantificar o teor de CO presente nos sedimentos erodidos. Já na época II, não houve escoamento superficial. As PCO por cultivo (2º ao 4º cultivo) nos tratamentos com cobertura vegetal variaram de 0,23 a 19,70 kg ha^{-1}, enquanto no tratamento SSC as PCO variaram de 7.191,34 a 9.936,93 kg ha^{-1} (Tabela 1).

As baixas PCO na ROT podem ser explicadas pela ação combinada do dossel vegetativo e dos resíduos vegetais na dissipação da energia cinética das gotas de chuva, reduzindo a desagregação das partículas do solo e mantendo a fração orgânica fisicamente protegida. Santos *et al.* (2007) observaram que as PCO reduzem expressivamente com o aumento da cobertura do solo por resíduos vegetais. Bertol *et al.* (2004b) enfatizam que, embora os teores de CO nos sedimentos sejam maiores em sistemas conservacionistas, as maiores perdas desse elemento ocorrem em solos sem cultivo.

CONCLUSÕES

Os tratamentos cultivados em plantio direto reduziram as perdas de carbono orgânico por erosão em mais de 99% em comparação ao solo sem cobertura. Entre os manejos cultivados, a rotação de culturas foi o tratamento mais eficiente, resultando em perda de carbono orgânico 70% menor do que o observado

na média dos tratamentos com sucessão de culturas. Houve uma tendência de redução nas PCO com o crescimento das plantas e aumento do dossel vegetativo durante os cultivos.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária, a Federação da Agricultura do Estado do Paraná, e ao Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Paraná pelos recursos financeiros concedidos para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

BERTOL, I. *et al*. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 485-494, 2004a.

BERTOL, I. *et al*. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1045-1054, 2004b.

BERTOL, I. *et al*. Phosphorus, potassium and organic carbon concentration in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil & Tillage Research**, v. 94, p. 142-150, 2007.

BERTOL, I. *et al*. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidraulicamente: fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1905-1910, 2012.

COLE, J. J. *et al*. Differential support of lake food webs by three types of terrestrial organic carbon. **Ecology Letters**, v. 9, p. 558-556, 2006.

DENARDIN, J. E. *et al*. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. *In:* LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (org.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. p.23-41.

DOS SANTOS, J. C. N. *et al*. Effect of rainfall characteristics on runoff and water erosion for different land uses in a Tropical Semiarid Region. **Water Resources Management**, v. 31, p. 173-185, 2017.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. 3.ed. Ithaca, Cornell University Press, 1995. 324p.

LEHTINEN, T. *et al*. Effect of crop residue incorporation on soil organic carbon and greenhouse gas emissions in European agricultural soils. **Soil Use & Management**, v. 30, p. 524-538, 2014.

LIMA, C. A. *et al*. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 697-706, 2015.

MERTEN, G. H. *et al*. **Erosão no Estado do Paraná: fundamentos, estudos experimentais e desafios**. Londrina: IAPAR, 2016.

PINHEIRO, A. G.; PALÁCIO, A. D. Q.; ANDRADE, E. M. D. Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu. **Irriga**, v. 23, p. 133-142, 2018.

SANTOS, T. E. M. *et al*. Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semi-árido, em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13, p. 113-125, 2008.

SANTOS, T. E. M. *et al*. Perdas de carbono orgânico, potássio e solo em Neossolo Flúvico sob diferentes sistemas de manejo no semi-árido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, p.143-149, 2007.

SILVA, D. D. *et al*. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 409-419, 2005.

SOUZA, F. G. *et al*. Losses of soil, water, organic carbon and nutrients caused by water erosion in different crops and natural savannah in the northern Amazon. **Revista Ambiente & Água**, v.14, p. 1-16, 2019.

WALKLEY, A. J.; BLACK, I. A. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WANG, B. *et al*. Soil erodibility for water erosion: a perspective and Chinese experiences. **Geomorphology**, v. 187, p. 1-10, 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NGRDI PARA REDUÇÃO DO EFEITO DO SOLO NA CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO MILHO

Ricardo Kwiatkowski Silva [1*], Luis Miguel Schiebelbein [2], Neyde Fabíola Balarezo Giarola [3], Eduardo Augusto Agnellos Barbosa [4], Fabrício Tondello Barbosa [5]

[1] Bolsista. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEPG) (ricardokds@gmail.com); [2] Professor. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEPG); [3] Professor. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEPG); [4] Professor. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEPG; [5] Professor. Programa de Pós-Graduação em Agronomia UEPG)

RESUMO

O monitoramento do desenvolvimento das culturas agrícolas é importante para antecipar informações sobre produtividade ou produção e detectar problemas que venham a afetá-las. Este estudo tem por objetivo analisar o desenvolvimento do milho diretamente em nuvens de pontos, geradas por meio do processamento de fotos obtidas por um sensor remoto RGB de baixo custo e embarcado em uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA). Utilizando-se da transformação espectral da Diferença Normalizada do Verde e Vermelho (tradução para *Normalized Green Red Difference Index* – NGRDI), realizou-se a separação superfície do terreno/planta, necessária para analisar a cultura sem a influência do solo ou palhada. Com a metodologia obteve-se como resultados os valores médios e de mediana que caracterizaram o desenvolvimento do milho e verificou-se que o limiar mínimo para separar a superfície do solo a partir do Índice NGRDI é de 0,02.

PALAVRAS-CHAVE: Aerofotogrametria; Nuvens de pontos, Índice de Vegetação, Separação solo/planta.

INTRODUÇÃO

Dados obtidos a partir do sensoriamento remoto fornecem diretamente informações sobre variáveis biofísicas como o teor de clorofila da vegetação (JENSEN, 2014). Nessa perspectiva, o imageamento de uma área agrícola utilizando-se de uma câmera embarcada em uma RPA, permite a obtenção de fotos que depois de processadas geram arquivos digitais como as nuvens de pontos tridimensionais. Estas permitem a análise e a geração de informações de forma semelhante aos levantamentos de campo não apenas localmente, mas em uma área geográfica considerável.

Determinados índices de vegetação são bons marcadores do crescimento de uma cultura porque os valores obtidos variam ao longo do tempo conforme as plantas se desenvolvem. Segundo Bendig *et al*. (2015), o NGRDI é um bom indicador fenológico de desenvolvimento porque o cálculo do índice supracitado reflete o grau de atividade bioquímica da clorofila caracterizando o estádio em que se encontra a planta. Outro índice muito utilizado é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (tradução para Normalized Difference Vegetation Index - NDVI). Por meio deste, Furukawa *et al*. (2020), correlacionaram o constante aumento do índice médio no desenvolvimento do milho, até atingir o valor máximo aproximado de 0,5.

A definição de valores para separação da cultura objetivando o cálculo do índice de vegetação é importante porque a superfície do solo apresenta características espectrais diferentes com valores tendendo a -1, o que pode subestimar ou superestimar os resultados do cálculo aplicado a cultura. Carrascosa *et al*. (2020) utilizaram o NGRDI para promover a separação das plantas na cultura da uva e encontraram para a superfície do solo valores entre −0.07587 e 0.07311. Guo *et al*. (2021) utilizaram o VARI (*Visible Atmospherically Resistant Index* - Índice Resistente à Atmosfera no Visível) e concluíram que o limiar para separar a superfície do solo em áreas desérticas é de 0,05.

Nesta perspectiva, o estudo teve por objetivo caracterizar a resposta fotossintética do milho que pode refletir seu desenvolvimento ao longo do tempo. A pesquisa se justifica na medida em que as informações espectrais da superfície do solo não permitiram a definição de valores médios e de mediana do índice de

vegetação no estádio de pós emergência V3 ou subestimaram nos testes realizados, os resultados nos demais estádios de desenvolvimento, sendo necessário a extração dos pontos que representam a palha e o solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em parcelas experimentais da pesquisa MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA NO ESTADO DO PARANÁ vinculada ao Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação (NAPI) PROSOLO. As parcelas estão localizadas na Fazenda Escola Capão da Onça, pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), no município de Ponta Grossa, estado do Paraná / Brasil, conforme a Figura 1.

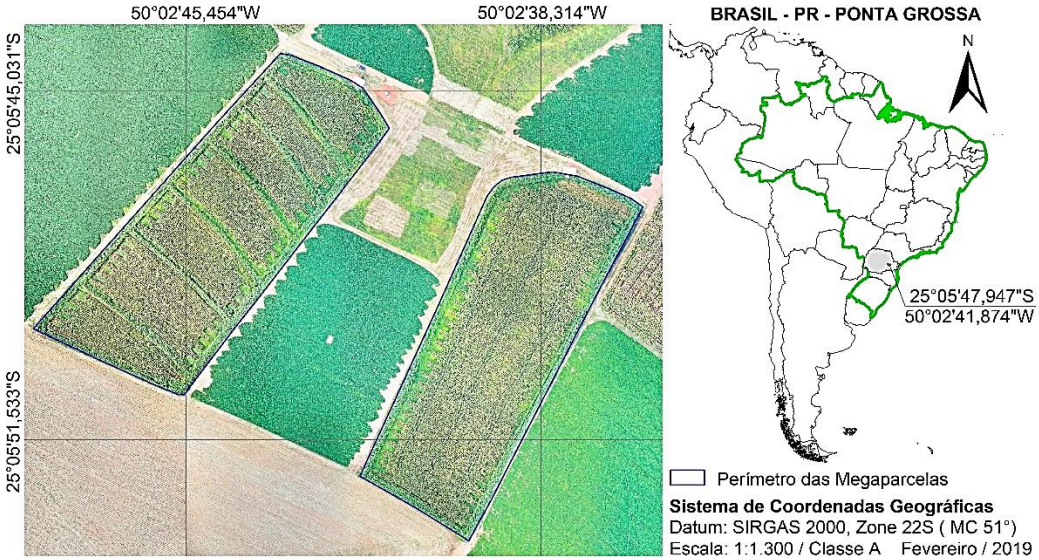


Figura 1. Parcelas experimentais delimitadas pelas linhas em azul. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (LVAd) (SiBCS, 2018). Inseriu-se a lavoura de milho como cultura de rotação no processo de cobertura do solo.

Criou-se o plano de voo para a altura de 100 metros com recobrimento lateral de 70% e longitudinal de 80%, que foi executado com a RPA rotor quadricoptero para obtenção das fotos aéreas verticais por meio da câmera L1D-20c. Informações detalhadas sobre os voos e o processamento das fotos aéreas para geração das nuvens densas de pontos podem ser encontradas no trabalho de Silva (2021).

Depois de aplicar o índice de NGRDI nas nuvens de pontos RGB obtidas a partir de algoritmo SfM-MVS (Structure from Motion - Multi-View Stereo) por meio da calculadora raster do programa Agisoft Metashape, buscou-se separar por classificação os pontos RGB. Gerou-se, assim, classificações com valores mais próximos de -1, representando pontos com atividade fotossintética nula (solo e palhada) e mais próximo de 1 com atividade fotossintética (plantas). Os pontos das nuvens foram rotuladas em função do valor obtido. Assim, selecionaram-se os pontos que representavam solo e palhada por cores (pontos com baixo índice de vegetação) por meio da técnica "*Select Points by Color*".

Para o recálculo NGRDI referente as plantas, utilizou-se de duas amostras extraídas por meio de dois polígonos A e B. Posicionou-se estes recortes utilizando-se dos critérios: local com maior quantidade de palhada sobre o solo (polígono A) e local com pouca palhada sobre o solo (polígono B). Posteriormente, foram inseridos no programa Agisoft Metashape, para seleção dos pontos de interesse por meio da técnica "Crop Selection". Desta forma, pontos exteriores aos polígonos foram eliminados e os pontos que representavam a superfície do solo e as plantas foram exportados para arquivos ASCII.

O cálculo dos índices finais e a determinação das medidas de tendência central (média e mediana) foram realizados em sequência, com o intuito de caracterizar os estádios fenológicos, em função da atividade fotossintética, por meio de planilha eletrônica sem os dados que representam a superfície do solo. As

medidas de tendência central foram recalculadas quando da execução dos testes de Kolmogorov-Smirnov (Testes KS) para verificação da normalidade dos dados. A Figura 2 apresenta o diagrama da metodologia elaborada.

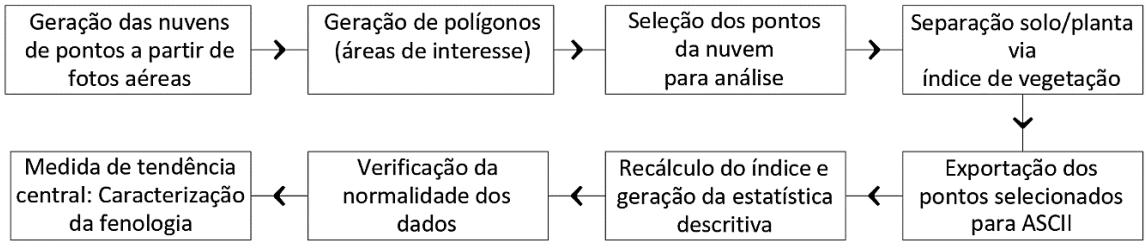


Figura 2. Diagrama simplificado da metodologia descrita

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Possibilitou-se com as técnicas de classificação que somente pontos que representam as plantas sejam selecionados para obtenção de índices médios de vegetação. Atenua-se desta forma ao máximo o "efeito de fundo" causado pelos níveis digitais que representam solo e/ou palhada com valores que se encontram entre -1 e 0. A Figura 3, mostra os resultados do procedimento para o estádio V3, verificando-se o desenvolvimento da cultura. A Tabela 1 apresenta os valores recalculados por meio de tabela eletrônica.

Dada a não normalidade dos dados obtidos, comprovada pela aplicação do teste de Kolmogorov-Sminov (a de 0,05), optou-se pelo uso da mediana como medida indicadora. Conforme a tabela 1, as variações nos valores calculados para o índice NGRDI e o aumento do número de pontos ao longo dos estádios de desenvolvimento são coerentes com o crescimento das plantas.

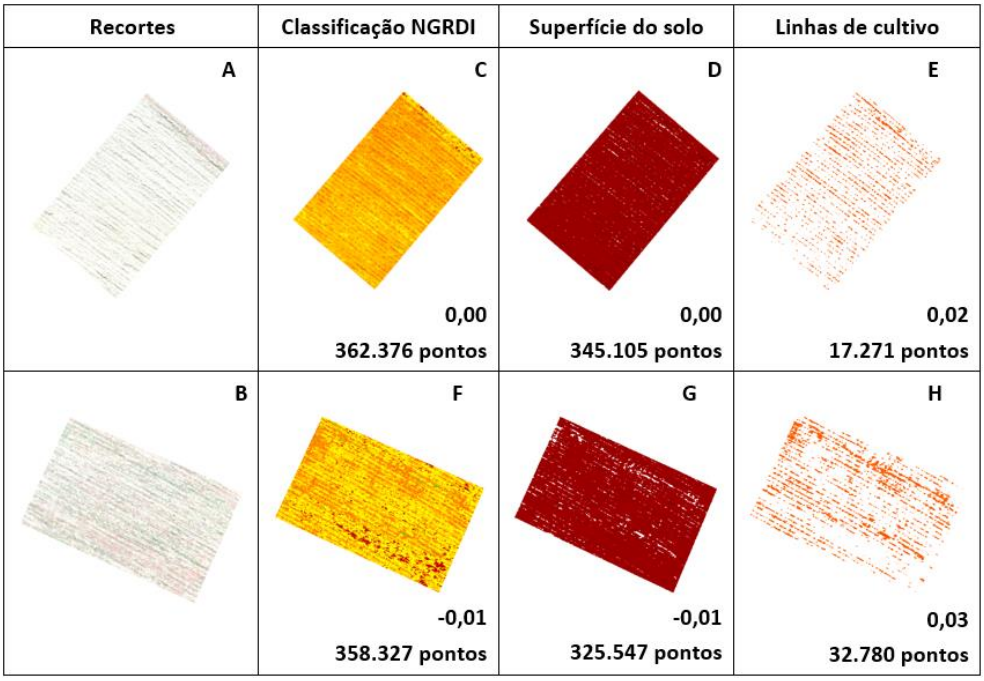


Figura 3. Separação solo/palhada/planta no estádio fenológico V3. Os valores representam o índice médio de vegetação NGRDI (-0,01 a 0,03) e a quantidade de pontos utilizada para o cálculo (cada ponto possui um valor RGB). A e B representam os dois conjuntos de amostras avaliados. Para obtenção das nuvens E e H foram excluídos os pontos com valores iguais a -1 e 0 (D e G) das nuvens C e F (Índices NGRDI).

Tabela 1. Índices médios e medianas NGRI recalculados sem a influência do solo/palhada.

Estádio Fenológico	Média (A)	Mediana (A)	Pontos (A)	Média (B)	Mediana (B)	Pontos (B)
V3	0,02	0,02	16.994	0,03	0,03	32.128
V6	0,14	0,13	470.775	0,14	0,13	369.581
V10	0,24	0,23	420.578	0,28	0,26	426.759
R1	0,11	0,10	544.299	0,11	0,10	546.943
R6	0,02	0,02	552.514	0,10	0,09	539.705

Notas: Para o estádio V3, os baixos valores médios do índice de vegetação refletem o referido estádio de desenvolvimento pois a área foliar ocupa uma parcela pequena da superfície do solo. Apesar dos maiores índices médios serem encontrados no estádio vegetativo V10, o pico da fotossíntese no milho ocorre no florescimento. A partir do estádio reprodutivo R1 os valores médios decrescem.

CONCLUSÕES

A metodologia aplicada nas nuvens de pontos SfM-MVS, utilizando-se de um índice de vegetação, permitiu a separação superfície do solo/plantas. Verificou-se que, para este estudo, o limiar mínimo para separar a superfície do solo a partir do Índice NGRDI é de 0,02.

Os valores médios e de mediana dos índices de vegetação refletiram a evolução do dossel com potencial para se inferir o estádio fenológico em que se encontra a cultura.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária e ao Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) pelo apoio financeiro. A Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEPG).

BIBLIOGRAFIA

BENDIG, J. *et al*. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n. 39, p. 79-87, 2015.

CARRASCOSA F.J.M. *et al*. Classification of 3D Point Clouds Using Color Vegetation Indices for Precision Viticulture and Digitizing Applications. **Remote Sensing**, v. 12, n. 317, 19 p., 2020.

FURUKAWA F. *et al.* Corn Height Estimation Using UAV for Yield Prediction and Crop Monitoring. *In:* **Unmanned Aerial Vehicle: Applications in Agriculture and Environment**. Springer Nature Switzerland, 2020. p. 51-69.

GUO, Z.C. *et al*. Biomass and vegetation coverage survey in the Mu Us sandy land - based on unmanned aerial vehicle RGB images. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, n. 94, 13 p., 2021.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. Pearson Education Limited, 2014. 614 p.

SILVA, R. K**. Análise do desenvolvimento do milho por meio do processamento de imagens obtidas a partir de aeronave remotamente pilotada**. 2022. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Ponta Grossa, 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISES PRELIMINARES PARA O USO DO NIR PORTÁTIL EM ANÁLISES DE SOLO

Tiago Rui Gois[1]*, Ellen Cristina Perin[2], Larissa Macedo dos Santos Tonial[3]
[1]Estudante de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Pato Branco, [2]Professora da Universidade Federal de Santa Maria, [3]Professora da UTFPR – Campus Pato Branco. *tiagogois@alunos.utfpr.edu.br

RESUMO

Atualmente, a maioria dos resultados de análises de solos são gerados por métodos laboratoriais, que demandam maior custo com equipamentos e reagentes. O objetivo desse trabalho foi viabilizar a realização de análises de solo através de espectroscopia de infravermelho próximo em equipamentos portáteis. Foram obtidos 187 resultados de análises de solo por métodos laboratoriais e foram geradas 374 curvas para serem utilizadas na calibração e validação através de dois limites de confiança e cinco pré-processamentos, todos pela utilização do método *Partial Least Square* (PLS) e avaliados os valores de R^2 de calibração e R^2 de validação. Os valores de R^2 de calibração variaram entre 0,678 e 0,792 e os valores de validação variaram entre 0,485 e 0,631. Com base nos valores encontrados, é possível concluir que o número de amostras do estudo ainda não foi suficiente para uma alta confiabilidade do emprego do NIR portátil em análises de solo, necessitando de mais estudos com maiores quantidades de amostras e emprego de outros métodos.
PALAVRAS-CHAVE: análise de solo; espectroscopia de infravermelho próximo; matéria orgânica do solo.

INTRODUÇÃO

Um importante componente dos ecossistemas terrestres é o solo, pois fornece nutrientes e umidade estritamente necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Para tal, como principais fontes de nutrição para as plantas em geral, sendo possível citar o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), tendo um papel fundamental e vital para as mesmas (Peng *et al*., 2019).

O solo em geral é considerado um sistema heterogêneo, com alta complexidade nos seus mecanismos e processos no sentido de dificuldade da sua total compreensão. Para quantificação de nutrientes entre outras análises, normalmente são utilizados métodos tradicionais/ convencionais, que geralmente demandam elevado tempo, alto custo e utilização de reagentes, bem como são métodos destrutíveis. Nesse sentido, é estratégico buscar alternativas para desenvolvimento de métodos mais rápidos, de baixo custo, mas que em contrapartida apresentem significativa precisão (Mohamed *et al*., 2018), consequentemente sustentáveis.

Atualmente, o emprego de técnicas espectrais não destrutivas tem aumentado para atingir os objetivos supracitados. Entre essas técnicas a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR, do inglês *near infrared*) tem provado ser uma alternativa interessante para várias análises. Nesta técnica ocorre a absorção de radiação em comprimentos de onda específicos por determinadas ligações moleculares na região infravermelha próximo, localizada entre 800 – 2500 nm, por grupos como O-H, C-H, N-H, e C-O. Deste modo, tem se mostrado ampla a aplicação da técnica na caracterização, e a maioria das pesquisas envolvendo NIR tem se concentrado no uso de instrumentos com faixa de comprimento de onda entre 350 e 2500 nm (Recena *et al.,* 2019; Ng *et al.,* 2020).

O uso do NIR requer a calibração empregando um conjunto amostral significativo, o qual envolve um número grande amostras e uma diversidade significativa. Os espectros obtidos são então submetidos a procedimentos quimiométricos, visando a construção de um modelo preditivo. Ou seja, isso significa que as características espectrais das amostras relacionadas as propriedades específicas das amostras determinadas pelos métodos convencionais, são utilizadas para a construção do modelo de calibração. Após é realizada a validação do modelo por outros métodos estatísticos específicos. Com isso, o modelo fornece por sua vez uma estimativa do valor analítico necessário (Askari *et al*., 2015; Recena *et al*., 2019).

Na literatura diversos trabalhos destacam as vantagens do emprego destes métodos modernos como alternativas sustentáveis para a determinação de diferentes atributos e a caracterização de diferentes amostras com elevada rapidez, baixo custo analítico, baixo consumo de reagentes e geração de resíduos (Fang *et al*., 2018; Recena *et al.,* 2019).

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial do uso da espectroscopia NIR para determinar os teores de P, K, cálcio (Ca) e Matéria orgânica (MO) em solos da região Sudoeste do estado do Paraná, utilizando um espectrômetro portátil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo envolve amostras de solo coletadas na região sudoeste do estado do Paraná, até o momento 187. Estas amostras foram obtidas por meio de uma parceria com o laboratório de solos (LabSolos) da UTFPR – Campus Pato Branco, o qual além das amostras também foi o responsável pela realização das análises via métodos convencionais.

Após o recebimento das amostras e dos resultados, os dados foram compilados levando em consideração apenas P, K, Ca e MO.

A obtenção dos espectros de NIR foi realizada em duplicata empregando um NIR portátil, modelo MyNIR da SPECTRAL SOLUTIONS (Figura 1) o qual é acoplado a um computador e operado empregando um *software* específico do equipamento SciR.



Figura 1. Espectroscópico de Infravermelho Próximo (NIR) portátil, utilizado para as determinações analíticas.

Os resultados das leituras pelo NIR e os resultados das análises de solo foram submetidos a análise de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS, do inglês *Partial Least Square*) combinado com diferentes limites de confiança (0 = Nenhum; 1 = limite de confiança 95%) e diferentes pré-processamentos (A = Nenhum; B = SNV; C = Primeira derivada (5pts); D = SNV + Primeira derivada (5pts); E = SNV + Primeira derivada (7pts)). Todos os dados de limites de confiança e pré-processamento são apresentados pelo programa SciR.

Para cada variável foi feita 10 análises de regressões, levando em conta a os limites de confiança e os pré-processamentos. A seleção das melhores combinações foi feita utilizando os dados de R^2 calibração (R^2 CAL) e R^2 validação (R^2 VAL), baseado nos dois maiores valores de R^2 CAL obtidos no experimento para cada variável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção dos modelos de calibração e validação empregou amostras de solos e os teores de MO, P, K e Ca obtidos pelos métodos convencionais (Tabela 1). Dentre as amostras, é possível observar grande variabilidade na composição química, sendo esta maior para os teores de K (CV 277,13%), essa é uma caraterística bastante importante pois permite a construção de modelos de ampla aplicação e é decorrente da diversidade da procedência das amostras, as quais são de diferentes locais da região do sudoeste do Paraná, logo diferentes solos, profundidades, sistemas de manejo, entre outros.

Os teores de MO apresentaram variação entre 1,34 a 103,2 g dm^{-3}, P entre 0,32 e 149,46 mg dm^{-3}, K entre 0,05 a 22 $cmol_c$ dm^{-3} e Ca com valores entre 0,6 e 30,9 $cmol_c$ dm^{-3}. Os resultados obtidos corroboram com valores apresentados na literatura (Morais *et al*., 2019). Sendo vários fatores de influência, como região, clima, aporte nutricional, dentre outros.

Tabela 1. Matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca) de amostras de solo da região Sudoeste do Paraná obtidas por método analítico convencional.

	MO (g dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	K ($cmol_c$ dm^{-3})	Ca ($cmol_c$ dm^{-3})
VALOR MÍNIMO	1,34	0,32	0,05	0,6
VALOR MÁXIMO	103,2	149,46	22	30,9
MÉDIA	38,16	20,85	1,03	7,65
DESVIO PADRAO	15,35	36,26	2,86	3,89
CV (%)	40,22	173,91	277,13	50,84

n = 187 amostras

Os resultados obtidos a partir da construção dos modelos de calibração e validação, empregando 5 combinações de pré-processamento e 2 limites de confiança, mostram valores de R^2 CAL entre 0,678 e 0,792, enquanto os valores de validação variaram entre 0,485 e 0,631 (Tabela 2). Na tabela 2 seguem apresentados as duas melhores combinações de cada variável resposta.

Tabela 2. Valores de R^2 CAL, RMSEC, R^2 VAL, RMSEV, N, outliers, nível de confiança, fatores e pré-processamento, dos modelos de calibração e validação obtidos empregando NIR portátil.

R^2 CAL	RMSEC	R^2 VAL	RMSEV	N	OUTLIERS EXCLUIDOS	LIMITE DE CONFIANÇA	FATORES	PRÉ-PROCESSAMENTO
					MO			
0,770	6,585	0,558	7,259	328	46	1	17	A
0,770	6,585	0,558	7,259	328	46	1	17	E
					P			
0,762	12,830	0,627	12,732	330	44	1	18	B
0,759	12,881	0,631	13,794	333	41	1	16	D
					K			
0,654	1,680	0,485	2,930	374	0	0	19	A
0,678	1,621	0,567	2,791	374	0	0	17	C
					Ca			
0,792	1,353	0,569	1,417	328	46	1	26	A
0,792	1,353	0,569	1,417	328	46	1	26	E

Onde: R^2 CAL = coeficiente de determinação da calibração, RMSEC = Root Mean Square Error of Calibration, R^2 VAL = coeficiente de determinação da validação, RMSEV = Root Mean Square Error of Validation, n = número de amostras. (0 = Nenhum; 1 = limite de confiança 95%) e diferentes pré-processamentos (A = Nenhum; B = SNV; C = Primeira derivada (5pts); D = SNV + Primeira derivada (5pts); E = SNV + Primeira derivada (7pts).

Para três das variáveis, o melhor resultado foi obtido com o limite de confiança de 95%, com exclusão de outliers. Apenas para o K, o melhor resultado apresentado foi aquele que considerou as 374 leituras. De

acordo com Santana, De Souza e Poppi, (2018), ao analisarem algumas variáveis do solo, incluindo a MO, encontraram valores de R^2 CAL de 0,7834 e R^2 VAL de 0,7506 pelo método do PLS. Além do PLS, foi utilizado também o *Random Forest* (RF), chegando a valores de R^2 CAL de 0,7838 e R^2 VAL de 0,7986. Entretanto o número de amostras utilizado no estudo foi de 3854 amostras de diversas regiões do Brasil.

CONCLUSÕES

Em geral, esse estudo apresenta potencial para quantificação dos teores de C, P, K e Ca de amostras de solo por meio de um método não destrutivo, sustentável, baixo custo e maior rapidez. No entanto, mais amostras são necessárias para avaliação visando maior qualidade e aplicabilidade dos modelos, abrangendo amostras distintas e garantindo precisão analítica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Solos da UTFPR – Pato Branco pela realização das análises de solo, pelo fornecimento dos laudos e pelo fornecimento das amostras de solo utilizadas no estudo.

BIBLIOGRAFIA

ASKARI, MOHAMMAD; CUI, JUNFANG; O'ROURKE, SHARON; HOLDEN, NICHOLAS. Evaluation of soil structural quality using VIS–NIR spectra. **Soil and Tillage Research**, 2014. 146. DOI. 10.1016/j.still.2014.03.006.

ASKARI, MOHAMMAD; O'ROURKE, SHARON; HOLDEN, NICHOLAS. Evaluation of soil quality for agricultural production using visible–near-infrared spectroscopy. **Geoderma**. 243., 2015. DOI. 10.1016/j.geoderma.2014.12.012.

DE SANTANA, F. B.; DE SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. Visible and near infrared spectroscopy coupled to random forest to quantify some soil quality parameters. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, [s. l.], v. 191, p. 454–462, fev. 2018. DOI. 10.1016/j.saa.2017.10.052.

MOHAMED, E.S; SALEH, AHMED; BELAL, ABDELAZIZ; GAD, ABD-ALLA. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**., 2018. DOI. 21. 10.1016/j.ejrs.2017.02.001.

MORAIS, WILKER; L., SOARES; N., CUNHA; TEIXEIRA, MARCONI; S., COSTA; CABRAL, FILHO; S., VIEIRA; O., MARQUES; MORAES, GLADISTON; M., ALVES; S., PEREIRA; F., SILVA; S., COSTA. Agronomic Performance of Millet Plants Grown in Soil Fertilized With Organic Wastes**. Journal of Agricultural Science**, 2024, 11. 137-137. DOI. 10.5539/jas.v11n11p137.

NG, WARTINI; HUSNAIN, HUSNAIN; ANGGRIA, LINCA; SIREGAR, ADHA; HARTATIK, WIWIK; SULAEMAN, YIYI; JONES, EDWARD; MINASNY, BUDIMAN. Developing a soil spectral library using a low-cost NIR spectrometer for precision fertilization in Indonesia. **Geoderma Regional**. 22. e00319, 2020. DOI. 10.1016/j.geodrs.2020.e00319.

PENG, Y., ZHAO, L., HU, Y., WANG, G., WANG, L., & LIU, Z. Prediction of Soil Nutrient Contents Using Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. ISPRS **International Journal of Geo-Information**, 8(10), 437, 2019. DOI. 10.3390/ijgi8100437

RECENA GARRIDO, RAMIRO; FERNANDEZ-CABANAS VICTOR; DELGADO, ANTONIO. Soil fertility assessment by Vis-NIR spectroscopy: Predicting soil functioning rather than availability indices. **Geoderma.** 337, 2019. 368-374. DOI. 10.1016/j.geoderma.2018.09.049.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DETERMINAÇÃO DA CURVA NÚMERO EM MICROBACIA HIDROGRÁFICA RURAL SOB PLANTIO DIRETO EM PONTA GROSSA - PR

Éricles Leonardo dos Santos[1*], Ariane Lentice de Paula [2] Eduardo Augusto Agnellos Barbosa [3], Fabrício Tondello Barbosa[3], Neyde Fabíola Balarezo Giarola [3]

[1*]Mestrando, Universidade Estadual de Ponta Grossa, ericlesleonardo3519@gmail.com [2] Pos-doutoranda, Universidade Estadual de Ponta Grossa[3] Doutor, Universidade Estadual de Ponta Grossa

RESUMO

A estimativa da Curva Número (CN) é essencial em estudos hidrológicos, sendo amplamente utilizada para avaliar a resposta hidrológica de diferentes áreas. Este estudo tem como objetivo elaborar hietogramas e hidrogramas para eventos de chuva-vazão, além de determinar a CN na microbacia do Lajeado da Onça, localizada em Ponta Grossa – PR, onde predomina o sistema de cultivo em plantio direto. Foram coletados dados de precipitação e vazão entre janeiro de 2023 e dezembro de 2024. A medição da vazão foi realizada em uma calha Parshall, com o auxílio de um linígrafo de pressão. A equação da CN foi ajustada para a condição II de umidade antecedente. Os valores de CN foram influenciados pela umidade antecedente, pela intensa precipitação e pela cobertura vegetal. O valor da CN registrado no principal evento extremo observado durante o período monitorado foi 66.

PALAVRAS-CHAVE: gestão da água; monitoramento hidrológico; hidrograma e hietograma.

INTRODUÇÃO

A compreensão do escoamento superficial (ES) é essencial para o manejo sustentável dos recursos hídricos, especialmente em bacias hidrográficas rurais, onde fatores como cobertura do solo, características geológicas e padrões climáticos influenciam a dinâmica hidrológica. As práticas agrícolas, como o plantio direto (PD), bem como as culturas cultivadas em diferentes estações do ano, podem alterar significativamente o comportamento hidrológico das microbacias rurais.

No Brasil, a falta de dados específicos sobre o fluxo de água em bacias rurais representa um desafio para o planejamento adequado do uso do solo e dos recursos hídricos. O PD, amplamente adotado, tem características que impactam diretamente a formação do ES, sendo fundamental entender as particularidades de cada região para desenvolver modelos hidrológicos mais precisos.

A Curva Número (CN) é um parâmetro hidrológico crucial para compreender os processos de infiltração e ES, além da capacidade de armazenamento de água no solo (REYS *et al*., 2011). A determinação do CN pode ser feita por medições diretas, utilizando equipamentos como pluviógrafos e linígrafos (BARROS *et al*., 2021). Alternativamente, valores de CN podem ser obtidos a partir de tabelas padrão, como as desenvolvidas pelo Soil Conservation Service (SCS) dos Estados Unidos (USDA, 1986), que relacionam o uso do solo, o tipo de solo e as condições de umidade antecedente. No entanto, essas tabelas foram criadas em um contexto fisiográfico diferente, o que pode gerar incertezas quando aplicadas em bacias hidrográficas brasileiras.

Este estudo tem como objetivo elaborar hietogramas e hidrogramas para eventos de chuva-vazão e determinar o valor da Curva Número (CN) para a bacia hidrográfica rural Lajeado da Onça, localizada em Ponta Grossa – PR. A partir dos dados locais, busca-se fornecer informações mais precisas para o manejo adequado da água e do solo na região.

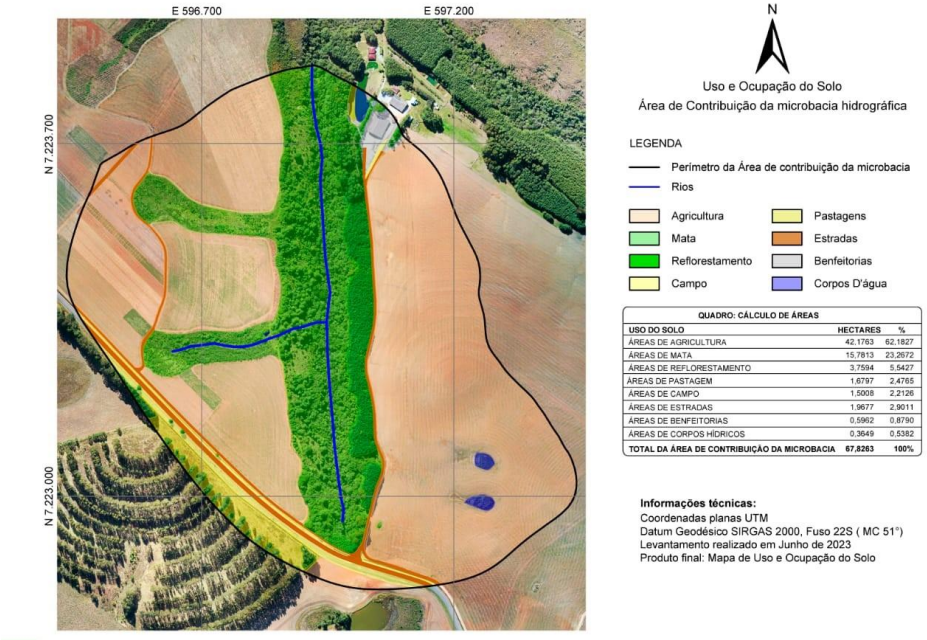
MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde à microbacia de segunda ordem do rio Lajeado da Onça, localizada no alto curso do rio Tibagi, em Ponta Grossa – Paraná (25°05'53,04" S e 50°02'19,58" W), com altitude média de 996 metros. A microbacia possui 67,83 hectares, com declividade média de 12%, e o rio principal tem

extensão de 908,2 m e declividade média de 5,18%. A área é predominantemente ocupada por agricultura em PD (62,18%) (FIGURA 1).

Os solos da microbacia são, em sua maioria, Latossolos (65,7%), seguidos por Cambissolos (17,2%) (SIQUEIRA, 2023). O clima da região é classificado como Cfb, com temperatura média inferior a 18°C no mês mais frio, verões amenos e precipitação anual de cerca de 1500 mm, sem estação seca (ALVARES *et al*., 2013).

Figura 1 – Caracterização do Uso e Ocupação do Solo na Microbacia do Lajeado da Onça, Ponta Grossa - PR.



Fonte: O autor.

Os dados de chuva e vazão foram coletados entre janeiro de 2023 e dezembro de 2024, com intervalos de 5 minutos. A medição de vazão foi realizada em uma calha Parshall modelo W48, com linígrafo de pressão e datalogger (SL2000 PNV, SOLAR®). A precipitação foi monitorada por um pluviógrafo de báscula (Davis Agrosystem) conectados a uma estação meteorológica automática com datalogger CR300 (Campbell®) e um pluviômetro Ville de Paris para correção da lâmina precipitada.

Para a construção dos hietogramas e hidrogramas, foram selecionados eventos de chuva que resultaram em vazões superiores a 200 L/s, pois chuvas com vazões abaixo desse valor geram contribuições mínimas ao ES. A precipitação foi plotada em função do tempo (5 minutos), e os hidrogramas foram construídos com dados de vazão, também em intervalos de 5 minutos. A partir dos hidrogramas, foram identificados os pontos de inflexão, que delimitam o início e o fim do escoamento superficial direto.

Os valores de CN foram determinados utilizando a equação de retenção de água no solo (S) de Hawkins *et al*. (2019), em conjunto com a equação de CN descrita pelo USDA-NRCS (2004) (Equação 1). E foram ajustados para a condição II de umidade antecedente (CN II) conforme Hawkins *et al*. (1985).

$$CN = \frac{25400}{5[PT+2QS-(4QS+5PT\cdot QS)^{0,5}]+254} \quad (1)$$

em que:
CN = valor da curva número para perdas por abstrações iniciais de 20% (USDA-NRCS, 2004);
PT = precipitação total do evento de chuva (mm);

QS = volume total de escoamento superficial (mm).

Os dados foram submetidos à análise descritiva, sendo avaliados os valores máximos, mínimos, e a média, assim como a assimetria e a curtose utilizando o software Jamovi (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2023, foram analisados 13 eventos chuva-vazão, enquanto em 2024, 2 eventos, conforme a tabela 1. A maioria dos eventos apresentou baixa magnitude de escoamento, com os de média a alta magnitude concentrados no último trimestre de 2023, especialmente em outubro.

Tabela 1. Dados de Precipitação, Vazão e Curva Número (CN) para Eventos Chuva-Vazão na Microbacia do Lajeado da Onça (2023-2024), Ponta Grossa - PR.

Data	PT	P5ant	Imed	I30	Qs	Qpico	CN_{II}
	mm		mm h^{-1}		m^3 ha^{-1}	L s^{-1}	
13/02/2023	44,47	30,81	31,22	50,41	20,67	621,73	82
17/02/2023	17,19	**114,92**	12,13	22,40	6,56	322,86	64
16/04/2023	43,27	28,53	43,27	52,00	14,31	906,94	81
11/07/2023	10,72	**71,58**	18,39	20,05	2,92	209,86	73
02/09/2023	13,30	25,92	15,24	20,74	3,49	209,86	94
04/10/2023	19,28	30,97	33,00	36,79	5,41	242,64	91
08/10/2023	17,12	**97,75**	27,64	31,32	9,31	431,04	70
27/10/2023	15,22	14,99	16,60	21,21	4,81	209,86	93
28/10/2023	13,23	45,50	14,43	18,84	6,60	313,26	87
28/10/2023	26,66	**67,16**	14,54	19,64	35,28	1201,99	66
30/10/2023	33,5	**151,01**	50,21	61,17	60,66	2536,27	66
03/11/2023	19,56	**80,27**	10,67	23,96	27,06	807,21	73
07/12/2024	42,26	28,08	25,36	37,51	11,82	466,21	80
09/12/2024	32,22	**134,97**	12,47	28,00	17,04	343,86	54
Máximo/mínimo/média					60,66 2,92 16,14	2536,27 209,86 630,26	94 54 76,71
Assimetria					1,92	2,47	-0,15
Curtose					4,01	6,89	-0,81

PT = Precipitação total (mm); P5ant = Precipitação antecedente (mm); Iméd= Intensidade média (mm h-1); I30= Intensidade máxima em 30 min (mm h-1); QS = volume de escoamento superficial (m^3 ha^{-1}); Qpico = Vazão de pico (L s-1); CN_{II} = Curva Número (adm). Fonte: O autor.

Os valores de CN, ajustados para a condição II de umidade antecedente, apresentaram baixos índices de assimetria e curtose, indicando que, embora a maioria dos valores de CN seja alta e próxima, há poucos eventos com valores menores, sem extremos. Os valores elevados de CN indicam que, mesmo em eventos de chuva de baixa intensidade, houve conversão da precipitação em escoamento (KRISNAYANTI *et al*., 2021).

O evento mais representativo, ocorrido em 30 de outubro de 2023, resultou em um valor de CN de 66, o qual é preliminarmente recomendado para projetos de conservação do solo e da água, bem como para obras hidráulicas na área de estudo, considerando que tais projetos devem ser dimensionados para eventos extremos, conforme REYS *et al*. (2011). No entanto, como observado por Bonta; Shipitalo (2013), a realização de estudos de longo prazo é fundamental para a obtenção de valores mais precisos de CN.

Este evento de chuva-vazão, registrado em 30 de outubro de 2023, foi responsável por aproximadamente 27% das perdas totais de água nos eventos analisados. Embora eventos extremos sejam pouco frequentes, como destaca Merten *et al*. (2015), eles têm um impacto desproporcional no balanço hídrico, resultando em perdas significativas de água. A grande perda de água (60,66 m^3 ha^{-1}) é atribuída à combinação de três fatores que influenciam diretamente o escoamento superficial: elevada umidade

antecedente do solo (151,01 mm), alta intensidade de precipitação (Imed = 50,21 mm h^{-1} e I30 = 61,17 mm h^{-1}) e baixa cobertura vegetal, uma vez que o solo destinado à agricultura estava em pousio (SCHOENER; STONE, 2019).

As informações obtidas neste estudo fornecem dados preliminares sobre o valor de CN para a microbacia rural de segunda ordem sob plantio direto, oferecendo subsídios iniciais para práticas de conservação do solo e planejamento hidrológico na região.

CONCLUSÕES

A ocorrência de eventos extremos, em condição de alta umidade antecedente do solo e baixa cobertura vegetal nas áreas cultivadas, resulta em alta vazão na microbacia rural e valores de CN próximo a 66. O uso do plantio direto como prática conservacionista não é totalmente eficiente no controle das perdas de água, sendo necessário o uso de práticas complementares de conservação do solo em microbacias rurais.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária pelo financiamento do projeto (Convênio FA 129/17). A FAEP, SENAR-PR e Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada pelo apoio.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6; p. 711-728, 2013.

BONTA, J. V.; SHIPITALO, M. J. Curve numbers for long-term no-till corn and agricultural practices with high watershed infiltration. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 68, n. 6, p. 487-500, 2013.

BARROS, C. A. P.; GOVERS, G.; MINELLA, J.P.G.; RAMON, R. How water flow components affect sediment dynamics modeling in a Brazilian catchment. **Journal of Hydrology**, v. 597, p. 126111, 2021.

HAWKINS, R. H.; HJELMFELT JR, A. T.; ZEVENBERGEN, A. W. Runoff probability, storm depth, and curve numbers. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 111, n. 4, p. 330-340, 1985.

HAWKINS, R. H.; THEURER, F. D.; REZAEIANZADEH, M. Understanding the basis of the curve number method for watershed models and TMDLs. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 24, n. 7, p. 06019003, 2019.

KRISNAYANTI, D. S.; BUNGANAEN, W.; FRANS, J.H.; SERAN, Y.A; LEGONO, D. Curve number estimation for ungauged watershed in semi-arid region. **Civil Engineering Journal**, v. 7, n. 6, p. 1070-1083, 2021.

MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 85-93, 2015.

REYS, C. D. R.; RIZZI, N. E.; ARAKI, H. Análise das características hidrológicas de três sub-bacias do rio Carapá (Canindeyú, Paraguai) em função das mudanças da cobertura vegetal. **FLORESTA**, v. 41, n. 2, p. 243-256, 2011.

SCHOENER, G.; STONE, M. C. Impact of antecedent soil moisture on runoff from a semiarid catchment. **Journal of Hydrology**, v. 569, p. 627-636, 2019.

SIQUEIRA, I. F. **Caracterização dos solos e capacidade de uso das terras da Bacia Hidrográfica Lajeado da Onça.** 2023. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Ponta Grossa, 2023.

USDA, S. C. S. **Urban hydrology for small watersheds**. Technical release, v. 55, p. 17-20, 1986.

USDA-NRCS. Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. *In:* USDA/NRSC (ed.) United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service. **Estimation of direct runoff from storm rainfall**. Washington, DC: USDA, 2004. p. 1-26.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

RESPOSTAS HIDROLÓGICAS FRENTE À EVENTOS DE CHUVA DE ALTA MAGNITUDE NA BACIA HIDROGRÁFICA DA UTFPR *campus* DOIS VIZINHOS

André Pellegrini[1*], Miriam Fernanda Rodrigues[2], Gabriel Michalichen[3], Enrike Becker Araujo [4], Mateus Felipe Berra[4]

[1,] Professor pesquisador, Coordenação do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Dois Vizinhos, PR. *pellegrini.utfpr@gmail.com [2,] Professora pesquisadora, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, RS. [3,] Eng. Florestal, UTFPR, *campus* Dois Vizinhos, PR. [4,] Aluno do curso de Agronomia UTFPR, *campus* Dois Vizinhos, PR.

RESUMO

As chuvas de alta magnitude têm sido cada vez mais recorrentes no Sul do Brasil devido, principalmente, ao fenômeno El Niño Oscilação Sul e proporcionam diversos impactos sociais, econômicos e ambientais adversos. O entendimento do modo operante da bacia hidrográfica frente a essas chuvas é necessário para o planejamento de uso e manejo do solo e da água para evitar os impactos negativos causados por essas chuvas. Objetivou-se descrever e entender o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica frente a chuvas de alta magnitude durante a ocorrência dos últimos fenômenos La Niña e El Niño em Dois Vizinhos, Sudoeste do Paraná. As chuvas de alta magnitude foram influenciadas pelos fenômenos La Niña e El Niño e geraram respostas rápidas com aumento na vazão na bacia hidrográfica. Os maiores volume e intensidade das chuvas, principalmente, associados à alta umidade antecedente do solo, proporcionam alta magnitude do escoamento superficial e da vazão.

PALAVRAS-CHAVE: eventos extremos; mudança climática; intensidade da chuva; vazão.

INTRODUÇÃO

As chuvas de alta magnitude, seja em intensidade, duração ou volume, têm sido cada vez mais recorrentes na Região Sul do Brasil, principalmente, devido à alternância na ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña causadas pelas alterações no clima. Essas chuvas proporcionam diversos efeitos com impactos sociais, econômicos e ambientais adversos.

Na Região Sul, incluindo o Sudoeste do estado do Paraná, o El Niño produz precipitação pluvial acima da média climatológica em quase todos os meses do ano, mas o período de maior influência é na primavera-início de verão. Ao contrário, o fenômeno La Niña ocasiona precipitação pluvial abaixo da média climatológica, com irregularidade de ocorrência, sendo o período principal o mesmo do El Niño.

O episódio mais recente de La Niña perdurou de julho de 2020 a fevereiro de 2023. Esse último episódio de La Niña foi seguido de El Niño, que perdurou de 2023 a 2024. O último episódio de El Niño começou em junho de 2023, atingiu o seu pico em dezembro de 2023 e terminou em junho de 2024. Esses fenômenos resultaram em chuvas de alta magnitude, que causaram diversos efeitos adversos e negativos na Região Sul do Brasil. Os principais efeitos causados por essas chuvas são o escoamento superficial, com consequente aumento da vazão, da concentração e da produção de sedimentos e a alteração dos constituintes da qualidade da água. A magnitude e o comportamento dessas variáveis dependem do uso e do manejo do solo e da água e das características das chuvas.

O entendimento de como o escoamento superficial e as demais variáveis acontecem e se propagam até a rede de drenagem é fundamental para entender o modo operante de cada bacia hidrográfica e para o entendimento e a predição do comportamento hidrológico frente à eventos de chuva de alta magnitude. Esse entendimento é necessário para o planejamento dos usos e dos manejos do solo e da água e depende do adequado monitoramento hidrológico na escala de bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é a unidade de monitoramento e de planejamento adequada, uma vez que as atividades realizadas nas encostas dessa

unidade refletem e propagam seus efeitos até a rede de drenagem, essa que é o elemento integrador de todos os fatores que compõem a bacia hidrográfica.

Objetivou-se, com este estudo, descrever e entender o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica frente à eventos de chuva de alta magnitude durante a ocorrência dos fenômenos La Niña e El Niño em Dois Vizinhos, no Sudoeste do Paraná, Sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma bacia hidrográfica (0,62 km²) localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Dois Vizinhos (UTFPR-DV), no município de Dois Vizinhos, na região Sudoeste do Paraná, entre as coordenadas geográficas 25° 42’ de latitude Sul e 53° 06’ de longitude Oeste, a 509 m de elevação.

O clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), sem estação seca definida, de acordo com a classificação climática de Köppen (ÁLVAREZ *et al*., 2013). A precipitação pluvial anual varia entre 1800 e 2200 mm (ÁLVAREZ *et al*., 2013), com média anual de 2011 mm (VIEIRA *et al*., 2018). As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, sendo outubro e janeiro os meses mais chuvosos e julho e agosto os meses menos chuvosos (VIEIRA *et al*., 2018). A erosividade média da região varia de 10000 a 12000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} (WALTRICK *et al*., 2015).

Os solos são oriundos de rochas basálticas da Formação da Serra Geral. O solo predominante na bacia hidrográfica é classificado como Nitossolo Vermelho (SANTOS *et al*., 2018). Esse solo possui distribuição do tamanho de partículas média na camada de 0,00-0,40 m de 20,0 g kg^{-1} de areia, 294,2 g kg^{-1} de silte e 685,8 g kg^{-1} de argila, sendo classificado como de textura muito argilosa. Na bacia hidrográfica também ocorrem os solos classificados como Latossolo Vermelho, Gleissolo Háplico e Neossolo Litólico (SANTOS *et al*., 2018).

Os principais usos da bacia hidrográfica são lavoura (30,30 ha-47,3%), pastagem (13,80 ha-21,6), mata (10,26 ha-16,0%) e vegetação arbustiva (5,27 ha-8,2), seguidos de estrada (2,19 ha-3,4%), sede (1,27 ha-1,9%), pomar (0,64 ha-1,0%) e açude (0,28 ha-0,4%), em menor proporção (BATTISTI, 2020).

O monitoramento contínuo da chuva e da vazão foi realizado em uma seção de monitoramento localizada no exutório da bacia hidrográfica e composta por uma calha Parshall (4,0 pés) instrumentalizada com sensores de precipitação (pluviógrafo) e de nível (linígrafo) conectados a um *datalogger* que registra e armazena os dados em intervalos de tempo fixos de 5 min. O monitoramento da chuva foi realizado por meio de um pluviógrafo, instalado junto à seção de monitoramento, e de três pluviômetros instalados distribuídos na área da bacia hidrográfica. O volume médio da chuva acumulada nos pluviômetros foi utilizado para a correção dos dados obtidos pelo pluviógrafo e representa a chuva média da área da bacia hidrográfica. O nível da água foi monitorado por meio do linígrafo e de uma régua linimétrica instalada na lateral da calha Parshall. Leituras diretas do nível da água foram realizadas na régua linimétrica durante os eventos de chuva-vazão. A vazão foi calculada com base no nível da água medido e da equação da calha Parshall.

Os dados de chuva e vazão dos eventos de alta magnitude monitorados entre julho de 2020 e junho de 2024 foram utilizados para elaborar o hietograma e o hidrograma e para obter as variáveis características da chuva e da vazão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As chuvas ocorridas durante o período de monitoramento (julho de 2020 a junho de 2024) tiveram comportamento distinto em relação à média histórica para Dois Vizinhos-PR (VIEIRA *et al*., 2018), pincipalmente, influenciado pelos fenômenos La Niña e El Niño. O fenômeno La Niña perdurou de julho de 2020 a fevereiro de 2023. Na Região Sul do Brasil, esse fenômeno ocasionou precipitação pluvial abaixo da média climatológica. Contudo, o ano de 2022, mesmo sob influência do fenômeno La Niña, teve precipitação pluvial mensal acima da média histórica na maioria dos meses. Isso ocorreu porque o fenômeno, embora

seja caracterizado por chuvas abaixo da média, é também caracterizado pela irregularidade das chuvas, o que causou precipitações pluviais de alta magnitude em algumas regiões, como no Sudoeste do Paraná, enquanto outras regiões seguiram dentro ou abaixo da média histórica (CRN, 2022). Esse último episódio de La Niña foi seguido do fenômeno El Niño, que começou em junho de 2023, atingiu o seu pico em dezembro de 2023 e terminou em junho de 2024.

Os eventos de chuva de alta magnitude foram observados em 10/10/2022, 11/10/2023, 28/10/2023, 03/11/2023 e 03/05/2024 (Tabela 1). O evento ocorrido em 10/10/2022, mesmo sob influência do fenômeno La Niña, teve alta magnitude, com volume acumulado de 207,8 mm, em 36 horas, chegando a um tempo de retorno (TR) de 38 anos.

Os demais eventos de chuva de alta magnitude ocorreram sob influência do El Niño. O maior evento de chuva do período de estudo na bacia hidrográfica ocorreu em 28/10/2023, com TR de 520 anos. Contudo, a magnitude das variáveis relacionadas a vazão foi maior para o evento subsequente, ocorrido em 03/11/2023. Isso ocorreu devido à ação combinada da alta magnitude da chuva com a alta umidade do solo antecedente à esta chuva e causada pelo evento anterior de chuva. O evento de chuva ocorrido em 03/05/2024 teve alta magnitude (TR = 210 anos), mas resultou em escoamento superficial e coeficiente de escoamento menores do que os demais eventos ocorridos durante o período de El Niño (Tabela 1), principalmente, devido ao longo período com chuvas de baixa magnitude ou sem a ocorrência de que antecedeu a este evento.

Tabela 1. Variáveis características da chuva e da vazão de cinco eventos de chuva de alta magnitude ocorridos de julho de 2020 a junho de 2024, na bacia hidrográfica da UTFPR *campus* Dois Vizinhos, Paraná, Sul do Brasil.

Eventos Chuva/vazão	ppt (mm)	I média (mm h^{-1})	TR (anos)	I30 (mm h^{-1})	Vol (m^3)	ES (mm)	C (%)	Q máx (L s^{-1})
10/10/2022	207,8	5,4	38	32,2	3614,0	5,65	2,7	642,0
11/10/2023	91,0	11,9	3,5	72,1	2381,0	3,72	4,1	668,8
28/10/2023	302,7	12,2	520	45,4	27759,4	43,37	14,3	1202,4
03/11/2023	102,0	8,9	3,9	54,0	7400,6	11,56	11,3	2193,0
03/05/2024	249,4	11,5	210	83,1	5904,4	9,22	3,7	732,7

Abreviações: ppt = chuva; I média = intensidade média; TR = tempo de retorno da precipitação pluvial; I30 = intensidade máxima em 30 minutos; Vol = volume escoado; ES = lâmina de escoamento superficial; C = coeficiente de escoamento; Q máx = vazão máxima.

As chuvas geraram respostas rápidas com aumento na vazão na bacia hidrográfica. O aumento na vazão ocorre logo após o início da chuva e a variação na intensidade da chuva ao longo do tempo de ocorrência do evento proporcionou hidrogramas compostos para a maioria dos eventos de alta magnitude, possivelmente, devido às distintas chegadas de fluxo à rede de drenagem causadas pela variabilidade temporal da intensidade de precipitação. A resposta rápida da vazão na bacia hidrográfica, frente a eventos de chuva, é resultante da ação individual ou combinada da umidade antecedente do solo e da intensidade máxima da chuva (Rodrigues *et al.,* 2014).

O comportamento hidrológico na bacia hidrográfica evidenciou que o maior volume e a maior intensidade das chuvas, principalmente associados à alta umidade antecedente do solo causada por chuvas consecutivas, proporcionam alta magnitude do escoamento superficial, o que levou ao aumento da vazão. O modo operante da bacia, com respostas rápidas no escoamento superficial e na vazão frente à eventos de chuva de alta magnitude, evidencia a necessidade de adoção de práticas conservacionistas adequadas de manejo e conservação do solo e da água para maximizar a infiltração de água no solo e reduzir a velocidade e a magnitude do escoamento superficial, o que reduz a velocidade e o volume de água que chega à rede de drenagem, reduzindo, com isso os danos causados por eventos de alta magnitude.

CONCLUSÕES

As chuvas de alta magnitude foram influenciadas pela ocorrência dos fenômenos La Niña e El Niño. Eventos de alta magnitude ocorrem mesmo sob influência do fenômeno La Niña, devido à irregularidade das chuvas. Contudo, maioria dos eventos de alta magnitude ocorreu durante a ocorrência do fenômeno El Niño.

As chuvas geram respostas rápidas com aumento na vazão na bacia hidrográfica. O comportamento hidrológico na bacia hidrográfica evidenciou que o maior volume e a maior intensidade das chuvas, principalmente associados à alta umidade antecedente do solo causada por chuvas consecutivas, proporcionam alta magnitude do escoamento superficial, o que leva ao aumento da vazão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio, bolsas de pesquisa e recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Koppen'S climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BATTISTI, F. **Implantação e monitoramento preliminar de microbacia hidrográfica rural no Sudoeste do Paraná**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Tecnológica Federal de Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, 2020. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5195. Acesso em: 8 set. 2022.

CENTRAL REGIONAL DE NOTÍCIAS – CRN. **La Niña provoca chuvas acima da média histórica no Paraná**. 2022. Disponível em: https://crn1.com.br/2022/10/la-nina-provoca-chuvas-acima-da-media-historica-no-parana/. Acesso em: 27 jan. 2024.

RODRIGUES, M. F.; REICHERT, J. M.; MINELLA, J. P. G.; DALBIANCO, L.; LUDWIG, R. L.; RAMON, R.; RODRIGUES, L. A.; BORGES JUNIOR, N. Hydrosedimentology of nested subtropical watersheds with native and eucalyptus forests. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, p. 1.311-1.324, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e amp. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

VIEIRA, F. M. C.; MACHADO, J. M. C.; VISMARA, E.; POSSENTI, J. C. Distribuições de probabilidade para análise de frequência de chuva no sudoeste do Paraná. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 260-266, 2018.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 256-267, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

A INTEGRAÇÃO FLORESTA-PECUÁRIA COMO ESTRATÉGIA PARA A SUSTENTABILIDADE DO SOLO

Vanessa Silva Romanoski[1*], Camila Aparecida Paulin Tessari[2], Nicoly Leticia Seghetto Bolino[2], Leandro Bittencourt de Oliveira[3], Karina Maria Vieira Cavalieri-Polizeli[4]

[1]Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, *agroromanoski@gmail.com; [2]Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná; [3]Professor do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná; [4]Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná.

RESUMO

A sustentabilidade da pecuária depende da manutenção da qualidade do solo. Nesse contexto, os sistemas de integração pecuária-floresta se destacam como uma estratégia eficaz para aprimorar a saúde do solo e garantir a viabilidade ambiental da atividade. O objetivo deste estudo foi avaliar os benefícios da inserção de floresta na melhoria dos atributos físicos do solo e no aporte de carbono em áreas destinadas à pecuária, comparando esses resultados com áreas de floresta regenerada. A pesquisa ocorreu no Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária da UFPR, com três tratamentos: Floresta Regenerada (RF), Pecuária (L) e Pecuária-Floresta (LF), em cinco profundidades. Os atributos analisados foram: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, estoque de carbono total no solo, resistência do solo à penetração de raízes. Na análise estatística aplicou-se os testes de Kruskal-Wallis e Dunn, MANOVA, análise de componentes principais (PCA) e agrupamento hierárquico. A Pecuária-Floresta apresenta melhorias em atributos físicos do solo em comparação com a Pecuária, mas não atinge as condições ideais da Floresta Regenerada, que se destacou pelo maior estoque de carbono e melhor estrutura porosa. A PCA explicou 72,8% da variância, com PC1 associado a BD, RP, Cst e macroporosidade e PC2 à microporosidade. A formação dos clusters reforça a semelhança entre os sistemas pecuários e sua diferença em relação à floresta. A integração de árvores à pecuária é uma estratégia promissora para a sustentabilidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: manejo conservacionista; atributos físicos do solo; ciclagem de nutrientes; matéria orgânica; recuperação do solo.

INTRODUÇÃO

A degradação do solo na pecuária brasileira compromete sua produtividade e sustentabilidade (Barros *et al*., 2018). O manejo convencional, baseado na monocultura e uso intensivo do solo, causa compactação e perda de matéria orgânica (Moraes *et al*., 2014). Entretanto, os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), especialmente a integração pecuária-floresta (IPF), são alternativas para mitigar esses impactos, promovendo a conservação do solo (Silva *et al*., 2016). A IPF melhora os atributos físicos do solo (Balbino *et al*., 2011), e a comparação com a mata nativa permite avaliar sua eficácia na recuperação do solo, considerando este ecossistema como referência de qualidade.

O ILP contribui para a ciclagem de nutrientes, aumenta a matéria orgânica e melhora a estabilidade estrutural do solo (Souza *et al*., 2018). Além disso, favorece o acúmulo de carbono orgânico, reduzindo emissões de gases de efeito estufa e tornando a pecuária mais sustentável (Silva *et al*., 2021). Assim, é essencial analisar os efeitos da IPF nos atributos do solo e no aporte de carbono, comparando com áreas sem árvores e com mata nativa (Calil *et al*., 2016). Diante disso, a hipótese do estudo é que a presença de árvores em áreas de pecuária melhora a estrutura do solo e aumenta o aporte de carbono, aproximando-o das condições da mata.

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar os benefícios da inserção de floresta na melhoria dos atributos físicos do solo, e no aporte de carbono, em áreas destinadas à pecuária, comparando esses resultados com áreas de floresta regenerada.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), situado na estação experimental Canguiri, da Universidade Federal do Paraná, no município de Pinhais - PR. O experimento seguiu um delineamento em blocos casualizados, distribuído em três blocos e três tratamentos: Floresta Regenerada (RF), Pecuária (L) e Pecuária-Floresta (LF). A Pecuária (L) e Pecuária-Floresta (LF) estão sob manejo conservacionista sem aplicação de pesticidas. Amostras indeformadas e deformadas de solo foram coletadas em cinco profundidades: 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; e 0,60-1.0 m. No sistema LF, a coleta foi realizada entre as árvores, com espaçamento médio final de 28 × 6 m. Os atributos analisados foram: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, estoque de carbono total no solo, resistência do solo à penetração no potencial de -100 hPa, e o teor de água no solo. A microporosidade foi obtida a partir do conteúdo de água retido no potencial de -60 hPa, seguindo a classificação de poros proposta por Brewer (1964), já a macroporosidade foi determinada pela diferença entre porosidade total e microporosidade (Flint & Flint, 2002). A análise de carbono foi realizada no Analisador CHNS, da marca Elementar modelo Vario El, e o método utilizado para análise foi por combustão via seca. O estoque de carbono total no solo foi calculado considerando a porcentagem de carbono, a densidade do solo e a espessura da camada, com correção por massa equivalente, conforme sugerido por Ellert *et al.* (1995).

Foi realizada análise estatística não paramétrica devido à ausência de normalidade dos dados e à heterogeneidade das variâncias entre os grupos. O teste de Kruskal-Wallis foi aplicado para verificar diferenças significativas entre os tratamentos nas diferentes profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-1 m). Quando significativo ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Dunn, ajustado pelo método de Bonferroni. Foi realizado teste de MANOVA (teste de Pillai, $p < 0,05$), análise de colinearidade e análise de componentes principais para identificar as principais variações nos atributos físicos do solo para a profundidade de 0 – 1.0 m. Para explorar padrões de agrupamento, foi utilizada análise hierárquica com a matriz de distância Mahalanobis e o método de Ward. Todos os cálculos foram feitos no software R (versão 4.3.1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a média dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades para três sistemas: Floresta Regenerada (RF), Pecuária (L) e Pecuária-Floresta (LF). A densidade do solo (BD, Figura 1A) esteve abaixo do limite crítico de 1,26 Mg m^{-3} na maioria das profundidades, exceto na camada de 0,10-0,20 m, onde os sistemas L e LR indicam restrição ao crescimento radicular devido à compactação (Pachepsky &Park, 2025). O estoque de carbono (Cst, Figura 1 B) foi maior na Floresta Regenerada, refletindo o maior acúmulo de carbono devido à menor perturbação do solo. No entanto, não houve diferença entre Pecuária e Pecuária-Floresta.

A macroporosidade (Figura 1 C) foi inferior ao limite crítico de 0,10 m^3 m^{-3} na Pecuária, indicando possível restrição à aeração e ao crescimento radicular nessas camadas (Grable & Siemer, 1968). A microporosidade (Figura 1 D) foi maior na Floresta Regenerada, sugerindo boa retenção de água. A resistência à penetração (RP, Figura 1 E) ficou abaixo de 2.5 MPa na maior parte dos perfis, exceto na camada 0,20-0,40 m da Pecuária (L), onde se aproximou do limite crítico. Esses resultados indicam que o manejo conservacionista preserva os atributos físicos do solo e aumenta o estoque de carbono, com a Pecuária-Floresta apresentando melhores condições que a Pecuária para o desenvolvimento radicular.

A análise de componentes principais (PCA) indicou que Pecuária (L) e Pecuária-Floresta (LF) compartilham características estruturais semelhantes, enquanto a Floresta Regenerada (RF) se destacou por apresentar maior macroporosidade, microporosidade e estoque de carbono no solo (Figura 2).

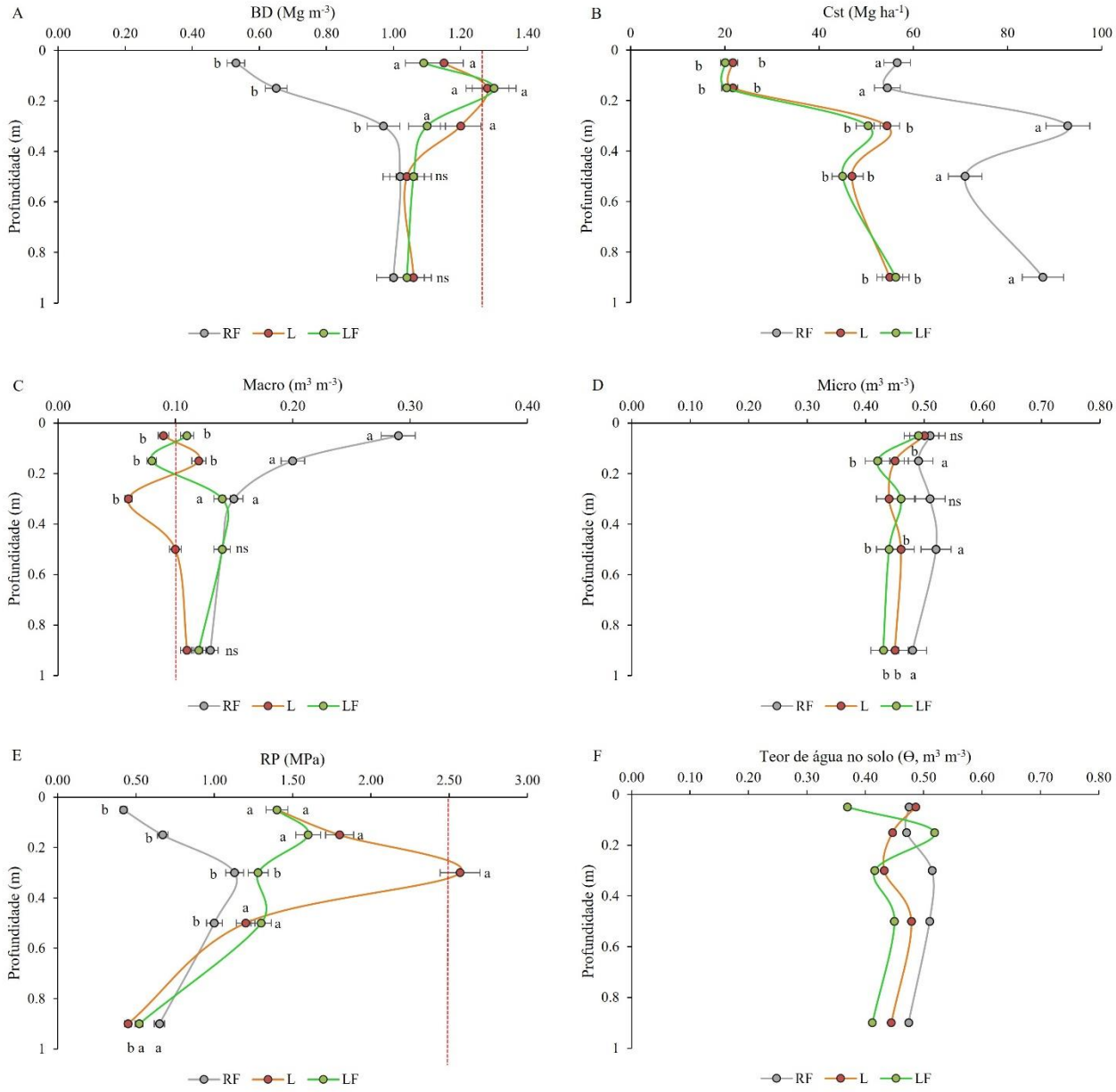


Figura 1. Valores médios dos atributos do solo em diferentes sistemas de uso: Floresta Regenerada (RF), Pecuária (L) e Pecuária-Floresta (LF), avaliados nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m e 0,60-1 m. Os atributos analisados foram: (A) densidade do solo (BD, Mg m^{-3}); (B) estoque de carbono (Cst, Mg ha^{-1}); (C) macroporosidade (Macro, m^3 m^{-3}); (D) microporosidade (Micro, m^3 m^{-3}); (E) resistência à penetração (RP, MPa); e (F) teor de água no solo (Θ, m^3 m^{-3}). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os sistemas ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste de Dunn com correção de Bonferroni. As barras representam os erros-padrão. As linhas vermelhas tracejadas a representam os valores críticos.

A análise multivariada de variância (MANOVA) confirmou a semelhança entre Pecuária e Pecuária-Floresta, com diferenças significativas em relação à Floresta Regenerada (p-valor = 0,003). A PCA explicou 72,8% da variância total, com o PC1 sendo fortemente influenciado por BD, RP, Cst e macroporosidade, enquanto o PC2 foi predominantemente determinado pela microporosidade (Figura 2).

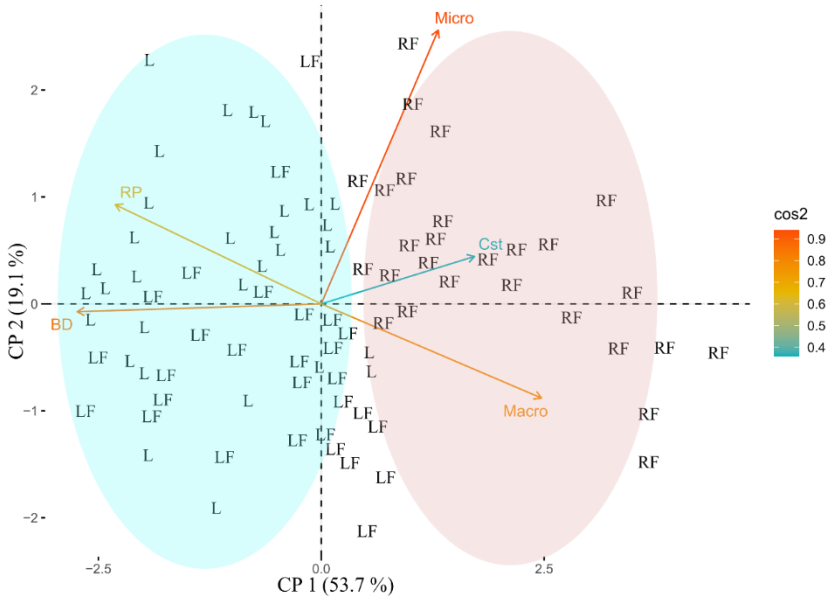


Figura 2. Análise de Componentes Principais (PCA) dos atributos do solo em Floresta Regenerada (RF), Pecuária (L) e Pecuária-Floresta (LF) na profundidade de 0-1 m. As elipses representam agrupamentos obtidos por análise de cluster hierárquico. Os atributos considerados foram: densidade do solo (BD, Mg m^{-3}), macroporosidade (Macro, m^3 m^{-3}), microporosidade (Micro, m^3 m^{-3}), estoque de carbono (Cst, Mg ha^{-1}) e resistência à penetração (PR, MPa).

A análise de agrupamento hierárquico revelou a formação de dois clusters, indicando a segmentação dos dados com base em sua similaridade: o primeiro, composto pelos sistemas Pecuária (L) e Pecuária-Floresta (LF), mostrou uma associação positiva entre BD e RP. O segundo cluster, formado pela Floresta Regenerada (RF) indicou uma possível relação entre Cst, Macro e Micro (Figura 2).

A Pecuária-Floresta compartilha características com a Pecuária, mas a Floresta Regenerada se destaca por maior estoque de carbono e melhor porosidade (Barros *et al*., 2018). A inserção de árvores na pecuária melhora a qualidade do solo, mas não substitui os benefícios da floresta. A literatura aponta que essa integração favorece a ciclagem de nutrientes e o aumento de carbono no solo (Souza *et al*., 2018).

CONCLUSÕES

Conclui-se que a Pecuária-Floresta apresenta melhorias em relação à Pecuária, especialmente nos atributos físicos do solo, como densidade do solo, macroporosidade e resistência à penetração, embora ainda não atinja as condições ideais observadas na Floresta Regenerada. Esta última se destacou pelo maior estoque de carbono e melhor estrutura porosa, evidenciando os benefícios de menor perturbação do solo. A formação dos dois clusters reforça a semelhança entre os sistemas pecuários e sua distinção em relação à floresta. Dessa forma, a integração de árvores à pecuária se mostra uma estratégia promissora para promover a sustentabilidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Universidade Federal do Paraná, Núcleo de Inovação Tecnológica na Agricultura (NITA) e CAPES.

BIBLIOGRAFIA

BALBINO, L C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. Marco referencial: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Embrapa Cerrados** - Livro científico (ALICE), 2011.

BARROS, L. R.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; SOUZA, J. L. O.; CARRECHEL, V.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; ALVES, A. R. Integrated Managements Systems for te Improvement of the Physical Quality of a Cerrado Oxisol. **Australian Journal of Crop Science**, Camberra, v. 12, n. 5, p.711-716, 2018.

CALIL, F.N.; LIMA, N.L.; SILVA, R.T.; MORAES, M.D.; BARBOSA, P.V.G.; LIMA, P.A.F.; BRANDÃO, D.C.; SILVA-NETO, C.M.; CARVALHO, H.C.S.; NASCIMENTO, A.D.R. Biomass and Nutrition Stock of Grassland and Accumulated Litter in Asilvopastoral System with Cerrado Species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 3701-3709, 2016.

ELLERTL, B. H., BETTANY2, J. R., & AND BETTANY, B. H. (1995). Calculation of Organic Matter and Nutrients Stored in Soils under Contrasting Management Regimes. **Canadian Journal of Soil Science**. https://doi.org/https://doi.org/10.4141/cjss95-075

FLINT, L. E.; FLINT, A. L. Porosity. *In:* KLUTE, A. (Ed.). Methods of Soil Analysis: Part 4 physical methods. 2nd ed. Madison, Wisconsin, USA: **Soil Science Society of America**, 2002. p. 241-254. (SSSA Book Series, v. 5).

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk Density and Linear Extensibility. *In:* KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis: Part 4 physical methods. 2nd ed. Madison, Wisconsin, USA: **Soil Science Society of America**, 2002. p. 201-228.

MORAES, A. DE, CARVALHO, P. C. DE F., LUSTOSA, S. B. C., LANG, C. R., & DEISS, L. (2014). **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1013-1023, 2014.

PACHEPSKY, Y., & PARK, Y. (2015). Saturated Hydraulic Conductivity of US Soils Grouped According to Textural Class and Bulk Density. **Soil Science Society of America Journal**, 79(4), 1094–1100. https://doi.org/10.2136/sssaj2015.02.0067

SILVA, A.R.; SALES, A.; VELOSO, C.A.C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Revista AGROTEC**, 37:96-104, 2016.

SILVA, A. R.; RODRIGUES FILHO, J. A.; CARVALHO, E. J. M.; SANTIAGO, A. V.; VELOSO, C. A. C.; MARTINEZ, G. B. Estoque de Carbono e Mitigação de Metano Produzido por Bovinos em Sistema Integração Pecuária-Floresta (IPF) com Eucalipto no Sudeste Paraense. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 39997-40016, 2525-8761, 2021.

SOUZA, E.D. de; SILVA, C.R.M. da; PINTO, F.A.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SOUZA, H. S.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; SOUZA, E. C. ARRIEL, D. A. A.; MEDEIROS, R. A. Análise Multivariada de Atributos Químicos e Físicos do Solo em Sistema Agroflorestal com Teca. **Scientia Agraria,** Curitiba, v. 19, n. 1, p. 87-93, 2018

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

IMPACTOS DO MANEJO DOS RESÍDUOS DA COLHEITA DE *Pinus taeda* L. NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Laura Cristiane Nascimento de Freitas[1*], Josileia Acordi Zanatta [2], Jeferson Dieckow [3]
[1] Doutoranda PPGCS UFPR*freitaslauracn@gmail.com[2] Pesquisadora Dra. Embrapa Florestas [3] Professor Dr. PPGSC UFPR

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi quantificar a emissão GEE provenientes do manejo dos resíduos florestais combinado com o uso de fertilizantes em plantações comerciais de *Pinus taeda* L. em regiões de clima subtropical. O estudo foi conduzido em experimento de campo, na Embrapa Florestas (Colombo – PR). A quantificação da emissão de GEE foi realizada durante 5 anos desde a implantação do pinus, sob o impacto de quatro tratamentos: sem resíduo da colheita florestal e sem fertilizante (sR-F); com resíduo e sem fertilizante (R-F); sem resíduo e com fertilizante (sR+F); e com resíduo e com fertilizante (R+F), em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. A retenção dos resíduos florestais em associação com a fertilização da área do plantio proporciona um aumento das emissões de N_2O no primeiro ano e do CH_4 nos primeiros 3 anos após o plantio do novo talhão de pinus, com uma tendência de queda após este período.

PALAVRAS-CHAVE: metano; óxido nitroso; fertilização nitrogenada, práticas silviculturais.

INTRODUÇÃO

Os plantios florestais tropicais são responsáveis por uma parcela crescente do suprimento global de madeira, sendo o Brasil destaque na indústria de árvores cultivadas como o maior exportador mundial de celulose (IBÁ, 2024). Uma das espécies mais utilizadas em plantios comerciais no Brasil é o *Pinus taeda* L., sobretudo na região Sul do país (HIGA *et al*., 2008, IBÁ, 2024). O setor brasileiro de árvores plantadas e as práticas silviculturais de manejo tornam-se relevantes para a promoção da sustentabilidade do setor (de São José *et al*., 2023), uma vez que o manejo adotado pode favorecer ou mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE) para atmosfera (Powlson *et al*., 2011; Martins *et al*., 2015).

A manutenção dos resíduos florestais da colheita está associada ao suprimento da demanda de nutrientes exigidos pelo cultivo florestal subsequente, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos (Besen *et al*., 2021) e, consequentemente, as emissões associadas de GEE. Contudo, apresenta também impacto significativo na difusividade dos gases no solo (Keller *et al*., 2005), podendo atuar como uma barreira física à difusão de gases, diminuindo a aeração do solo e influenciando a capacidade do solo de oxidar metano (CH_4), enquanto a remoção dos resíduos florestais pode diminuir as emissões de dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O) devido à restrição de nutrientes (Walkiewicz *et al*., 2021).

Embora a área dedicada ao cultivo de pinus no Sul do Brasil seja expressiva, ainda não há estudos avaliando o impacto da retirada dos resíduos florestais sobre a emissão de GEE no médio e longo prazo. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar a emissão de GEE provenientes do manejo dos resíduos florestais combinado ao uso de fertilizantes em plantações comerciais de *Pinus taeda* L. em regiões de clima subtropical.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Florestas) localizada no Município de Colombo – Paraná, cujas coordenadas geográficas são 25°20’S e 49°14’W e altitude média de 920 m. O clima predominantemente na região é do tipo Cfb (Köppen), caracterizado por clima sempre úmido ou pluvial quente temperado. O solo é classificado como Cambissolo Húmico e a vegetação nativa é caracterizada como Floresta Ombrófila Mista.

O experimento foi instalado em junho de 2019 com o plantio de mudas da espécie *Pinus taeda* L, após a colheita de um talhão de pinus de 35 anos de idade. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, constituídos por três blocos e quatro parcelas e cada parcela foi constituída de 70 plantas de pinus dispostas no espaçamento de 2x3 m.

Os tratamentos, correspondentes aos sistemas de manejo da área experimental, combinaram o manejo do resíduo da colheita (retenção ou remoção) com a adubação N-P-K, compondo os seguintes tratamentos: (1) sem resíduo de colheita e sem fertilizante (sR-F); (2) com resíduo de colheita e sem fertilizante (R-F); (3) sem resíduo de colheita e com fertilizante (sR+F); e (4) com resíduo de colheita e com fertilizante (R+F). Nos tratamentos com adubação, foram aplicados 50 kg. ha^{-1} de N, 60 kg. ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg. ha^{-1} de K_2O, conforme recomendação para a espécie florestal do estudo. A adubação de N foi dividida em 2 parcelas iguais aplicadas em 04/12/2019 e 04/03/2020.

A coleta dos GEE foi realizada frequentemente após a instalação do experimento (junho/2019), totalizando 66 eventos de amostragem de ar e análise da emissão de GEE em 5,5 anos. Para a avaliação da emissão dos GEE foi utilizado o método da câmara estática fechada (Zanatta *et al.*, 2014). Em cada parcela foram distribuídas três bases metálicas (próximo a planta, na linha e entre-linha). Sobre as bases metálicas foram acopladas câmaras e as amostras de ar foram coletadas em dois intervalos de tempo (0 e 38 minutos), com auxílio do equipamento automático de coleta G2508 Picarro, que permite analisar as concentrações de CH_4 e N_2O em tempo real, através da tecnologia de CRDS (espectroscopia de cavidade ring-down).

A emissão acumulada dos GEE por hectare por ano foi determinada pela emissão média diária interpolada nos períodos correspondentes. Os dados obtidos foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias de Bartlett ($p>0,05$), para analisar os efeitos dos manejos de resíduos de colheita do pinus sobre a emissão acumulada de CH_4 e N_2O. Posteriormente foi realizada a análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p<0,05$), com o auxílio do software Rstudio (versão 4.3.1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão acumulada média de óxido nitroso (kg $N\text{-}N_2O$ ha^{-1} ano^{-1}) no solo, para os tratamentos avaliados, foi maior no primeiro ano após a instalação do experimento, com valores de 0,33 a 2,62 (Figura 1A). Observa-se que a combinação da retenção do resíduo da colheita com o uso da adubação nitrogenada (R+F) diferiu significativamente dos demais tratamentos (Tabela 1), apresentando emissão média acumulada de 1,16 kg $N\text{-}N_2O$ ha^{-1} ano^{-1}. Possivelmente, o uso de fertilizantes nitrogenados associado ao aporte de matéria orgânica no solo (MOS) via retenção dos resíduos da colheita florestal, podem favorecer uma maior emissão de $N–N_2O$. A fertilização nitrogenada aumenta a disponibilidade de N mineral no solo, tanto amônio quanto nitrato, e esses compostos são substratos para o processo de produção do N_2O no solo. O resíduo vegetal, por sua vez pode aumentar a quantidade de carbono orgânico dissolvido no solo (COD) e também a atividade microbiana. O COD é um elemento necessário para o processo de desnitrificação do N (NO_3^-) para formas mais reduzidas como N_2O. Outro sim, a elevada atividade microbiana pode restringir a disponibilidade

de oxigênio em alguns nichos do solo, possibilitando ambiente favorável para a desnitrificação do nitrogênio (N) e, como consequência, maior emissão de N_2O para a atmosfera (Abreu *et al*., 2024).

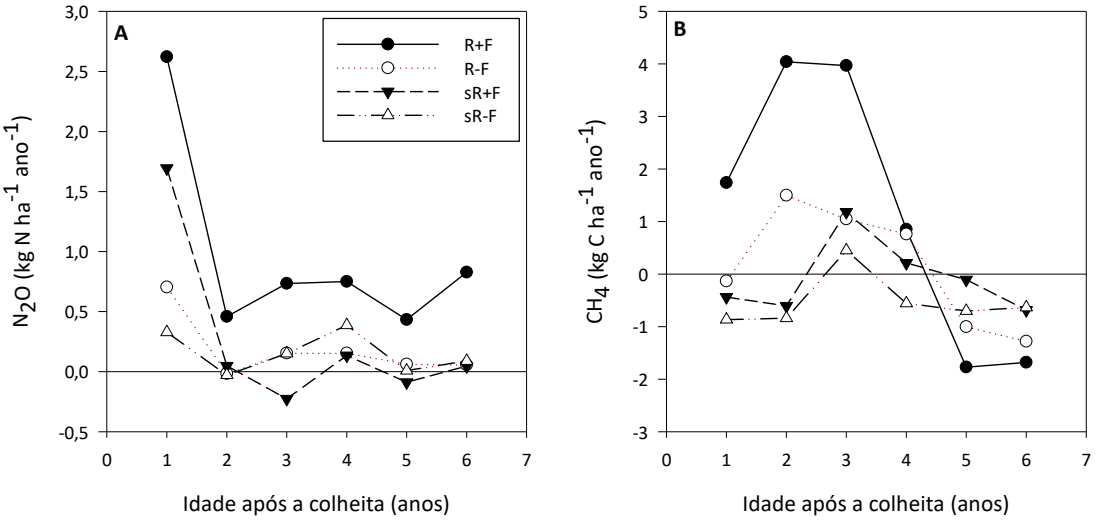


Figura 1. Emissão acumulada de N_2O (A) e CH_4 (B) a partir do solo sob os tratamentos: com resíduo de colheita e com fertilizante (R+F), com resíduo de colheita e sem fertilizante (R-F), sem resíduo de colheita e com fertilizante (sR+F) e sem resíduo de colheita e sem fertilizante (sR-F), no período de amostragem (5,5 anos) do plantio de *Pinus taeda*. Colombo – PR.

Para o metano (kg C-CH_4 ha^{-1} ano^{-1}) as maiores emissões observadas ocorreram no ano 2 e 3 (Figura 1B), com valores de -0,84 a 4,04 e 0,45 a 3,97, respectivamente. De modo geral, o tratamento R+F destacou-se como fonte de C-CH_4 nos primeiros anos após a implantação do experimento, diferindo significativamente dos demais tratamentos na média anual (Tabela 1). A retenção dos resíduos no solo pode favorecer uma maior atividade microbiana (De Melo *et al*., 2023), e como já observado, uma elevação da atividade microbiana pode formar sítios com baixo suprimento de oxigênio. Fisicamente, a presença de resíduos na superfície do solo minimiza os efeitos da radiação solar (reduzindo a temperatura do solo, diminuindo a evaporação, mantendo a umidade do solo e diminuindo a concentração de oxigênio) (Abreu *et al*., 2024). Esses aspectos podem favorecer a metanogênese em detrimento da metanotrofia, levando a maiores emissões de C-CH_4 (Tulio *et al*., 2023). Por outro lado, nos primeiros anos de avaliação, os tratamentos com a remoção dos resíduos (sR+F e sR-F) atuaram como sumidouro, resultando no influxo do C-CH_4. Após o terceiro ano, houve uma tendência de consumo do C-CH_4 em todos os tratamentos.

Tabela 1. Emissão média acumulada de N_2O e CH_4 a partir do solo sob influência dos tratamentos: R+F: com resíduo de colheita e com fertilizante, R-F: com resíduo de colheita e sem fertilizante, sR+F: sem resíduo de colheita e com fertilizante e sR-F: sem resíduo de colheita e sem fertilizante, durante o período de amostragem do experimento com *Pinus taeda*. Colombo – PR.

Tratamentos	Emissão Acumulada	
	N_2O (kg N ha^{-1} ano^{-1}) **	CH_4 (kg C ha^{-1} ano^{-1}) *
R+F	1,16 a	1,05 a
R-F	0,22 b	-0,03 bc
sR+F	0,33 b	-0,13 bc
sR-F	0,18 b	-0,59 b

**significativo ao nível de 0,01%; *significativo ao nível de 0,05%.

CONCLUSÕES

Nas condições deste experimento, a retenção dos resíduos florestais em associação com a fertilização da área do plantio proporciona um aumento das emissões de N_2O e do CH_4 nos primeiros anos após o plantio do novo talhão de pinus, com uma tendência de queda após este período.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes pela concessão da bolsa de Doutorado, à EMBRAPA Florestas, ao Consórcio Internacional C_arouNd e demais profissionais envolvidos pelas contribuições na realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ABREU, N. L., RIBEIRO, E. S. D. C., SOUSA, C. E. S., MORAES, L. M., OLIVEIRA, J. V. C., FARIA, L. A. A., RUGGIERI, A. C., CARDOSO, A. S., FATURI, C., RÊGO, A. C., SILVA, T. C. Mudanças de uso da terra e emissão de gases de efeito estufa: uma explanação sobre os principais drivers de emissão. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, p. 77646E, 2024.

DE MELO, R. O., DE BARROS, N. F., DA SILVA TEIXEIRA, R., DA FONSECA, A. A., VASCONCELOS VALADARES, S., PREVIDENTE MARTINS, R., & MELO, I. N. CO2, N2O and CH4 emissions and C storage in eucalyptus forests with different management practices of harvest residues. **BioEnergy Research**, v. 16, n. 1, p. 398-415, 2023.

DE SÃO JOSÉ, J. F. B., CHERUBIN, M. R., VARGAS, L. K., LISBOA, B. B., ZANATTA, J. A., ARAÚJO, E. F., & BAYER, C. A soil quality index for subtropical sandy soils under different Eucalyptus harvest residue managements. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 1, p. 243-255, 2023.

HIGA, R. C. V., WREGE, M. S., RADIN, B., BRAGA, H., CAVIGLIONE, J. H., BOGNOLA, I., & DE OLIVEIRA, Y. M. M. **Zoneamento climático: *Pinus taeda* no sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

Industria Brasileira de Árvores - IBÁ. **Relatório anual 2023**. São Paulo: IBÁ, 2023. Disponível em: https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf. Acesso em: 27 de fevereiro de 2025.

MARTINS, C. S., NAZARIES, L., MACDONALD, C. A., ANDERSON, I. C., & SINGH, B. K. Water availability and abundance of microbial groups are key determinants of greenhouse gas fluxes in a dryland forest ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 86, p. 5-16, 2015.

SANTOS, H. H. dos; *et al*. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. - 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

TULIO, R. H., RACHWAL, M. F. G., ZANATTA, J. A., DA SILVA, K., & KASCHUK, G. Physical, chemical and microbiological soil attributes influence soil greenhouse gases fluxes in Atlantic Forest and pine (*Pinus taeda*) plantations in Brazil. **Soil Use and Management**, v. 39, n. 1, p. 183-197, 2023.

ZANATTA, J. A., ALVES, B. J. R., BAYER, C., TOMAZI, M., FERNANDES, A. H. B. M., COSTA, F. D. S., & CARVALHO, A. D. Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo. **Embrapa Florestas**, 2014.

TRABALHOS APRESENTADOS NA SESSÃO DE PÔSTERES I

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DETERMINAÇÃO DA FAUNA EPIEDÁFICA ASSOCIADA A DIFERENTES USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO: AGROFLORESTA, PASTAGEM E CULTIVO DE MILHO

Gabrielli Tuni Adami[1], Bruno Antoniolli[1], Nicole Gelinski de Sousa[1*], Joel Donazzolo[2], Dinéia Tessaro[2]
[1] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil,
*nicolegelinski@alunos.utfpr.edu.br, [2] Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil

RESUMO

O estudo avaliou a fauna epiedáfica associada a agroecossistemas de agrofloresta, plantio de milho e pastagem em pousio. A coleta dos organismos foi realizada com a instalação de 5 *Pitfall-traps*, em cada área, resultando na coleta de 15 grupos taxonômicos. Os agroessistemas de milho e pastagem apresentaram maior equitabilidade e diversidade em comparação à agrofloresta. A análise de componentes principais revelou diferenças claras nas comunidades edáficas entre os sistemas. A ordem Coleoptera apresentou maior potencial de bioindicação para a agrofloresta, enquanto Chilopoda e Araneae estão associados ao milho e à pastagem, respectivamente. Conclui-se que o uso do solo afeta diretamente a composição da fauna epiedáfica e pode promover a ocorrência de grupos dominantes, associados às diferentes condições.

PALAVRAS-CHAVE: Invertebrados edáficos; fauna do solo; agroecossistemas.

INTRODUÇÃO

O solo é caracterizado como um reservatório biológico diversificado, que abriga mais de um quarto da biodiversidade global (Bach *et al*., 2020). A fauna edáfica representa uma fração dessa biodiversidade, caracterizada por organismos invertebrados que vivem permanentemente ou passam parte do seu ciclo de vida no solo (Baretta, 2014). Esses organismos contribuem para a fragmentação e decomposição de resíduos orgânicos, aeração, mobilização de nutrientes, e atuação nos ciclos biogeoquímicos (Pompeo *et al*., 2020), sendo ainda um importante bioindicador por suas interações com a dinâmica solo-serapilheira e seu papel no equilíbrio do ecossistema por ocupar diferentes níveis tróficos (Wiesmeier *et al*., 2019).

A fauna edáfica é influenciada por fatores bióticos e abióticos, os quais interagem de forma dinâmica, e impactam sua composição e funcionalidade (Baretta, 2003). No âmbito do uso do solo, esses organismos apresentam alta sensibilidade, principalmente em função do manejo do solo adotado (Goés *et al*., 2021), cuja inadequação pode resultar na degradação do ambiente edáfico, e comprometer, sua funcionalidade nos sistemas biológicos (Menandro *et al*., 2019).

Perante o exposto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a fauna epiedáfica associada a agroecossistemas de agrofloresta, pastagem e cultivo de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Dois Vizinhos, entre as coordenadas geográficas 25°44’01’’S e 53°03’26’’, e altitude de 509 metros, no mês de novembro de 2024 em três agroecossistemas: agrofloresta, plantio de milho e pastagem em pousio. Segundo a classificação de Koppen, a região é caracterizada por um clima subtropical úmido, do tipo Cfa, com precipitação média anual de 2.000 mm (Alvarez *et al*., 2013), e o solo é classificado com Latossolo Vermelho Distrófico. Para a coleta dos organismos epiedáficos, foram dispostas 5 *Pitfall-traps* (Moldenke, 1994) em cada área, preenchidas em 2/3 do seu volume com solução conservante de formol a 4%. Após sete dias, as armadilhas foram transportadas ao laboratório e seu conteúdo lavado em peneira de malha fina 270 *Mesh* com posterior classificação dos organismos ao menor nível taxonômico possível, com auxílio de lupa binocular.

Os dados foram analisados quanto à frequência relativa pelo software Excel, considerando os grupos com frequência mínima de 3%, e os demais, foram agrupados na categoria “outros”. Com o software *Past*

4.14, foram determinados os índices de diversidade de Shannon (H') e equitabilidade de Pielou (J). A distribuição dos organismos entre as áreas foi verificada pela Análise de Componentes Principais, enquanto grupos indicadores foram verificados pelo método do Valor Indicador (IndVal) (Dufrêne & Legendre, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram amostrados, ao total, 2583 organismos, distribuídos em 15 grupos taxonômicos, sendo: Acari, Araneae, Blattaria, Chilopoda, Collembola, Coleoptera, Diplopoda, Diptera, Enchytreidae, Formicidae, Gastropoda, Hemiptera, Hymenoptera, Isopoda e Orthoptera (Figura 1).

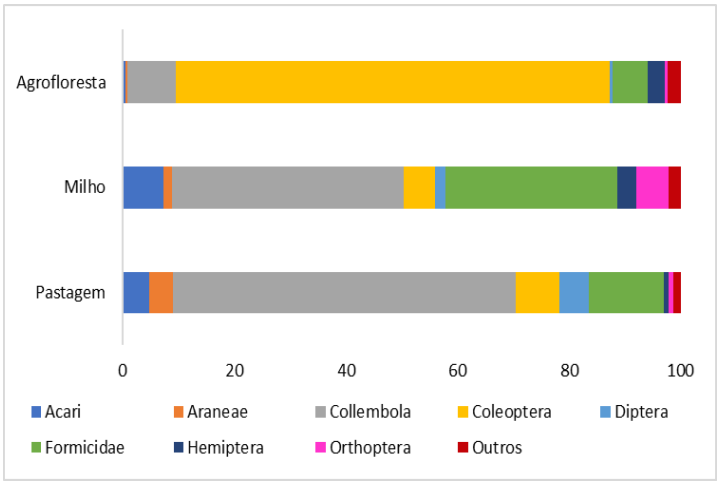


Figura 1. Frequência relativa da fauna epiedáfica associada a agrofloresta, plantio de milho e pastagem.

Nos agroecossistemas de milho e pastagem, locais mais antropizados, houve maior abundância do grupo Collembola, dotados de ampla adaptação ecológica e resistência a perturbações ambientais e a interdependência ecológica com outros organismos que podem influenciar sua distribuição e persistência, além disso, possuem uma alta sensibilidade frente às alterações no ambiente, desta forma, sua maior abundância nestas áreas pode estar associada ao manejo agrícola (Camara *et al*., 2017).

A elevada ocorrência de coleópteros na agrofloresta pode estar associada à heterogeneidade ambiental, à abundante disponibilidade de matéria orgânica, à ausência de agroquímicos, bem como à oferta de recursos florais e polinívoros. São organismos influenciados pela sazonalidade, com maior ocorrência em períodos de maior umidade (Magiotto *et al*., 2019), justificando sua associação a esse agroecossistema.

A maior abundância de formigas associada a área de milho, pode estar relacionada à presença de gêneros de Formicidae adaptados a áreas com maior grau de interferência (Trigos-Peral *et al*., 2018), ou ainda em locais desmatados, ocorrem condições ambientais que favorecem o estabelecimento de grupos oportunistas, como as formigas, que colonizam esses micro-hábitats (Ramírez-Barajas *et al*., 2019).

Os índices de Shannon e Pielou, indicam que o cultivo de milho apresentou maior diversidade e equitabilidade, enquanto a agrofloresta exibiu maior dominância, associada a elevada abundância de coleópteros. Este resultado difere de outros reportados na literatura, uma vez que em sistemas agroflorestais, geralmente há maior diversidade associada às condições edafoclimáticas locais (Tabela 1).

A análise de componentes principais (Figura 2) explicou 44,37% da variância total dos dados, com diferenciação na distribuição biológica entre as áreas. Associados ao cultivo de milho destacam-se os grupos Formicidae, Chilopoda, Orthoptera e Acari, enquanto para a agrofloresta, as ordens Coleoptera e Isopoda. Já os grupos Enchytraeidae, Gastropoda, Diptera, Collembola e Araneae estão associados à pastagem.

Tabela 1. Riqueza, abundância e índices ecológicos de equitabilidade de Pielou (J) e diversidade de Shannon (H). para agroecossistema de pastagem em pousio, cultivo de milho e agrofloresta.

	Pastagem	Milho	Agrofloresta
Riqueza	13	11	10
Abundância	922	697	964
Pielou (J)	0,53	0,67	0,38
Shannon (H')	1,36	1,61	0,88

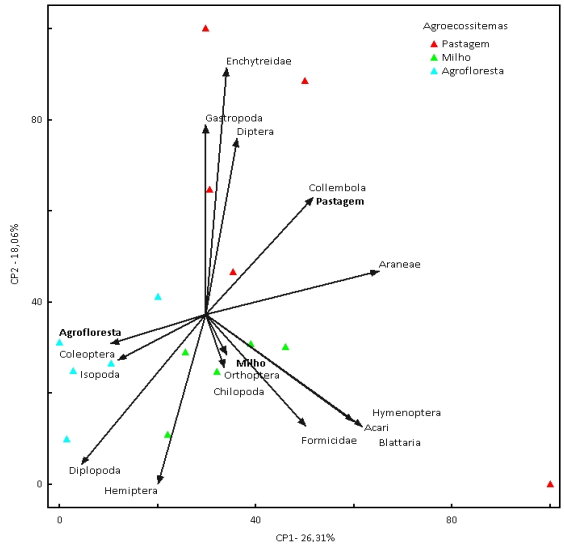


Figura 2. Análise de componentes principais para grupos taxonômicos da fauna epiedáfica associados a áreas de pastagem em pousio, cultivo de milho e agrofloresta.

A análise IndVal (Tabela 2) evidenciou maior relevância da ordem Coleoptera na agrofloresta (87,1%), enquanto no milho e na pastagem, os grupos Chilopoda (80%) e Araneae (73,5%), apresentaram maior potencial de bioindicação, respectivamente. Para que o resultado do IndVal seja confiável, a associação deve ser superior a 70% (Leach *et al*. 2013). Logo, nas condições avaliadas, estes grupos atendem a essa premissa.

Tabela 2. Análise IndVal aplicada a grupos da fauna epiedáfica em pastagem em pousio, milho e agrofloresta.

Área/Grupo	Aca	Ara	Bla	Chi	Coll	Col	Dipl	Dip	Enc	For	Gas	Hem	Hym	Iso	Ort
Pastagem	35,2	73,5	20	0	60,2	8,36	0	59,3	40	30,9	20	10,4	20	4,2	60
Milho	40,8	16,6	0	80	30,7	4,5	11,4	7,8	0	53,6	0	31,4	0	8,5	1,86
Agrofloresta	2	2,2	0	0	8,94	87,1	57,	3,6	0	15,4	0	38,0	0	51,	1,12

Aca-Acari; Ara-Araneae; Bla-Blattaria; Chi-Chilopoda; Coll-Colllembola; Col-Coleoptera; Dipl-Diplopoda; Dip-Diptera; Enc-Enchytreidae; For-Formicidae; Gas-Gastropoda; Hem-Hemiptera; Hym-Hymenoptera; Iso-Isopoda; Ort-Orthoptera.

CONCLUSÕES

O cultivo de milho apresentou maior diversidade e equitabilidade biológica, enquanto a agrofloresta apresentou maior dominância, diretamente associada pela elevada frequência de coleópteros.

A análise de componentes principais indicou diferenciação das áreas com base na distribuição dos organismos da fauna edáfica.

As ordens Coleoptera, Chilopoda e Araneae estão associados como bioindicadores às áreas de agrofloresta, milho e pastagem, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pela concessão de bolsa ao terceiro autor, a UTFPR-DV, e ao grupo de pesquisa Biologia do Solo - GPBIOS da UTFPR-DV.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen 's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BARETTA, D. *et al*. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 871-879, 2014

BARETTA, D. *et al*. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.2, n-2, p.97-106, 2003.

CAMARA, R. *et al*. Atlantic Forest size effect on structure and composition of soil arthropods community, RJ, Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 2, p. 145-154, 2017.

DUFRÊNE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, Washington, v.67, n.3, p.345-366, 1997.

GÓES, Q. R. *et al*. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 123-144, 2021.

BACH, E. M. *et al*. Soil biodiversity integrates solutions for a sustainable future. **Sustainability**, Switzerland, v 12, n. 7, p. 1-20, 2020.

LEACH, E. *et al*. Potential of ants and beetles as indicators of rainforest restoration: characterizing pasture and rainforest remnants as reference habitats. **Ecological Management e Restoration**, Austrália, v. 14, n. 3, p. 202-209, 2013.

MAGIOTTO, G. *et al*. Soil fauna community and ecosystem's resilience: A food web approach. **Acta Oecologica**, Joinville, v.99, p.103445, 2019.

MENANDRO, L. M, G. *et al*. Soil macrofauna responses to sugarcane straw removal for bioenergy production. **Bioenergy Research**, Coahulia, v. 12, n. 4, p. 944-957, 2019.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. *In:* BOTTOMLEY, P. J.; ANGLE, J. S.; WEAVER, R. W. (Eds.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties.** Part 2. Madison: SSSA, 1994, p. 517-542.

POMPEO, P. N. *et al*. Diversidade de Coleoptera (Arthropoda: Insecta) e atributos edáficos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Scientia agraria**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 16-28, 2016.

RAMÍREZ-BARAJAS, P. J. *et al*. Diversidad de macro-invertebrados en sistemas silvopastoriles del sur de Quintana Roo, México. **Revista de Biología Tropical**, San José, v. 67, n. 6, p. 1383 1393, 2019.

TRIGOS-PERAL, G. *et al*. Ant communities and Solidago plant invasion: Environmental properties and food sources. **Entomological Science**, Japão, v. 21, n. 3, p. 270–278, 2018.

WIESMEIER, M. *et al*. Soil organic carbon storage as a key function of soils - a review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma**, Amsterdam, v, 333, p. 149-162, 2019.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS SOBRE A FAUNA EPIEDÁFICA EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO

Hellen Cristina Palinski[1]*, Jéssica Camile da Silva[2], João Vitor Yamanaka Bonatto[1], Carlos Alberto Casali[3], Dinéia Tessaro[3]

[1]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil, hellenpalinski@alunos.utfpr.edu.br*; [2]Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Dois Vizinhos, Paraná Brasil; [3]Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil

RESUMO

O estudo avaliou o efeito de fertilizantes orgânicos e minerais sobre a fauna edáfica em solo cultivado com fertilizantes orgânicos e minerais. Foram testados seis tratamentos: controle (sem adubação), adubação mineral em linha e a lanço, cama de aves, dejeto bovino e dejeto suíno. A coleta da fauna edáfica foi realizada com armadilhas *Pitfall-traps* e os organismos foram classificados ao menor nível taxonômico possível. Os resultados indicam que não houve diferença estatística para a riqueza e abundância média entre os tratamentos. A adubação mineral em laço proporcionou maior riqueza e abundância, enquanto o tratamento controle apresentou os menores índices ecológicos. A análise de componentes principais mostrou que não há uma separação clara dos tratamentos em relação a sua composição biológica. Nas condições testadas as diferentes formas de adubação promovem melhoria na abundância e diversidade de grupos, com melhores resultados para a adubação mineral a lanço.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiversidade edáfica, dejetos orgânicos, qualidade do solo.

INTRODUÇÃO

Os fertilizantes orgânicos e inorgânicos, são compostos que fornecem elementos essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Carneiro *et al*., 2017). Entre eles, os fertilizantes orgânicos derivados da produção animal, como a cama de aves e o dejeto líquido de suínos e bovinos, desempenham um papel fundamental na agricultura sustentável. Além de disponibilizarem nutrientes para as culturas, melhoram a qualidade do solo e são capazes de promover a biodiversidade edáfica, permitindo um manejo agrícola mais equilibrado e eficiente (Feltes, 2023).

A adição de adubos orgânicos em sistemas de cultivo pode beneficiar a fauna edáfica ao fornecer alimento para os organismos, favorecendo sua multiplicação e diversidade (Silva *et al*., 2014). Essa interação tem um impacto direto sobre a fauna do solo, como observado por Tessaro *et al*. (2019), os quais destacaram que o uso adequado de fertilizantes orgânicos e minerais pode influenciar positivamente sua composição e abundância. Os fertilizantes minerais, por sua vez, também contribuem para maior crescimento vegetativo e aumento da produtividade das culturas (Ogino *et al*., 2020). Em contraste, o uso excessivo de fertilizantes, pode levar a eutrofização das águas, alterações nas suas propriedades químicas e físicas, além do potencial de afetar a dinâmica microbiana e a redução da biodiversidade do solo (Rodrigues, 2023).

Considerando a importância da fauna edáfica para a saúde do solo e o funcionamento dos ecossistemas agrícolas, este estudo teve como objetivo analisar como a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais influencia a diversidade e a abundância dos organismos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Dois Vizinhos O solo é classificado como Nitossolo vermelho, manejado sob sistema plantio direto (SPD) há duas décadas, com terraceamento da área e rotação de culturas no período.

O experimento implantado no ano de 2019 com aplicação de adubos orgânicos e minerais, sendo: (a) controle (sem adubação); (b) adubação mineral na linha (400 kg ha^{-1} da fórmula 02-20-18); (c) adubação mineral a lanço (400 kg ha^{-1} da fórmula 02-20-18); (d) dejeto suíno (63,5 m^3 ha^{-1}); (e) dejeto bovino (79,4 m^3 ha^{-1}); e (f) cama de aves (3.175 kg ha^{-1}). As aplicações dos fertilizantes foram realizadas duas vezes ao ano, totalizando até a coleta da fauna edáfica, 8 aplicações. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 24 parcelas, cada uma com área de 12,6 m^2 (6 m × 2 m).

A coleta da fauna edáfica foi realizada utilizando o método *Pitfall-traps* (Moldenke, 1994), com a instalação de uma armadilha por parcela, compostas por recipientes plásticos de 250 ml, preenchidos em ⅔ do seu volume com solução de formol a 4%. Após sete dias, as armadilhas foram levadas ao laboratório e seu conteúdo lavado em peneira de malha fina (270 *mesh*). Os organismos edáficos foram preservados em álcool absoluto e classificados ao menor nível taxonômico possível com o auxílio de estereomicroscópio.

Para a comparação das áreas quanto abundância e riqueza média de grupos, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro- Wilk e à análise de variância, seguido da comparação pelo teste de Tukey a 5% probabilidade pelo software Rbio (Bhering *et al*., 2017). Foram calculados os índices ecológicos de diversidade de Shannon-Wiener, dominância de Simpson, e equitabilidade de Pielou através do software Past versão 4.03 (Hammer *et al*., 2001). Para a compreensão de como os tratamentos influenciam a composição da fauna edáfica, foi realizada a análise de componentes principais do software PcOrd (McCune; Mefford. 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram amostrados 3870 organismos edáficos, distribuídos em 14 grupos taxonômicos, sendo: Acari, Aranae, Collembola, Coleoptera, Chilopoda, Dermaptera, Diplopoda, Diptera, Formicidae, Hemiptera, Hymenoptera, Larva, Orthoptera e Thysanoptera.

Os parâmetros riqueza e abundância médias (Tabela 1) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Esse resultado indica que nas condições testadas, os organismos edáficos apresentaram resposta semelhante aos diferentes tratamentos.

Tabela 1. Abundância e riqueza média de organismos edáficos, índice ecológico de dominância de Simpson, diversidade de Shannon e equitabilidade de Pielou em solo cultivado com feijão e fertilizado com diferentes fontes de nutrientes.

	Sem adubação	Adubação mineral linha	Adubação mineral lanço	Cama de aves	Dejeto bovino	Dejeto suíno
Riqueza média	8,33 ns	7,75 ns	7,75 ns	7,00 ns	6,25 ns	7,50 ns
Abundância média	179,33 ns	195,50 ns	166,75 ns	134,25 ns	135,75 ns	187,50 ns
Simpson (C)	0,57	0,45	0,38	0,41	0,42	0,47
Shannon (H')	0,95	1.12	1.28	1.13	1.14	1.13
Pielou (J)	0,39	0,46	0,51	0,47	0,49	0,45

Quanto aos índices ecológicos (Tabela 1) a adubação mineral a lanço apresentou os melhores resultados. Esse resultado pode estar atrelado ao potencial da adubação mineral em disponibilizar nitrogênio rapidamente e elevar a saturação por bases, melhorando a fertilidade do solo e beneficiando a microbiota e a fauna edáfica, que desempenham papel fundamental na saúde do solo e na produtividade vegetal, por meio da decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (Silva *et al*.,2020a; Silva *et al*., 2020b). Na condição de adubação a lanço, estes aspectos benéficos podem ocorrer de forma mais homogênea no solo e não apenas de forma mais concentrada na linha. Os demais tratamentos com fertilizantes orgânicos e

minerais apresentaram valores similares para os índices ecológicos. Segundo Betancur-Corredor *et al*. (2022), a fertilização orgânica é capaz de promover a biodiversidade essencial para os ecossistemas agrícolas. Em contraste, o tratamento controle apresentou resultados opostos a adubação mineral a lanço, com os piores índices. A limitada disponibilidade de nutrientes, associada ao reduzido desenvolvimento vegetal, é capaz de comprometer a funcionalidade do solo e por consequência, a fauna edáfica e a atividade biológica (Fernandes *et al*., 2020).

A análise de componentes principais (Figura 1) revelou uma porcentagem total de explicação de variância dos dados de 42,4%. A análise demonstra que não houve separação clara dos tratamentos. No entanto, é possível observar a associação de alguns grupos. O grupo de larvas está associado ao tratamento controle (A), enquanto os grupos Coleoptera e Diptera estão associados à adubação mineral em linha (B). Embora os coleópteros sejam conhecidos por ocupar ambientes ricos em matéria orgânica (Pompeo *et al*, 2016) e alguns grupos apresentarem elevada abundância em locais com acúmulo de excrementos animais (Thomazini e Thomazini, 2000), sua associação à adubação mineral pode ser reflexo da ocorrência de famílias fitófagas (Marinoni *et al*., 2001).

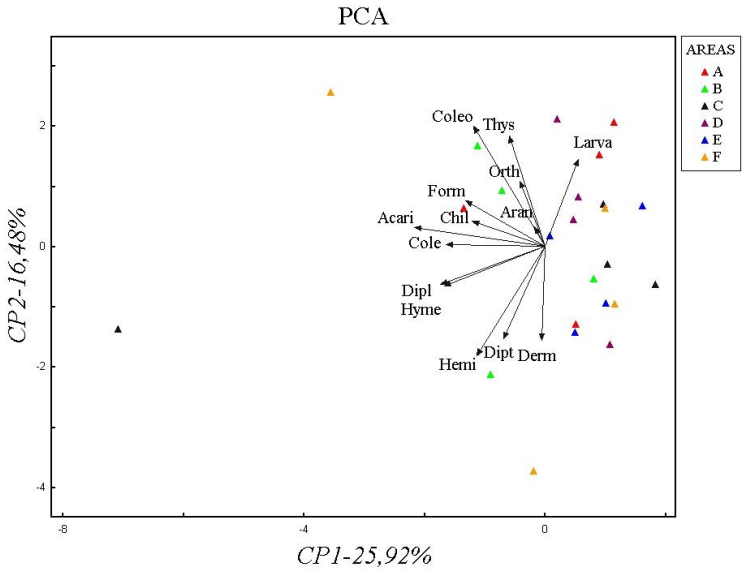


Figura 2. Análise de componentes principais (PCA) sobre a distribuição de grupos da fauna edáfica em áreas com diferentes aplicações de fertilizantes orgânicos e minerais.
Legenda: Controle (A), adubação mineral linha (B), adubação mineral lanço (C), cama de aves (D), dejetos bovinos (E) e dejetos suínos (F).

CONCLUSÕES

O tratamento com adubação mineral a lanço apresentou os melhores índices ecológicos, em comparação aos demais. Em contraste, a falta de adubação resultou nos piores índices, evidenciando seu impacto negativo sobre a fauna edáfica e a funcionalidade do solo.

A análise de componentes principais mostrou que os tratamentos afetam de maneira distinta a composição da fauna edáfica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FA/SETI/SENAR pelo financiamento da pesquisa, a UTFPR-DV, e aos grupos de pesquisa Biofert e Biologia do Solo- GPBIOS da UTFPR-DV.

BIBLIOGRAFIA

BETANCUR-CORREDOR, B. *et al*. Organic nitrogen fertilization benefits selected soil fauna in global agroecosystems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 59, n. 1, p. 1-16, 2022.

BHERING, L. L. Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 17, p. 187-190, 2017.

CARNEIRO, J. S. S. *et al*. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade no solo do Cerrado. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 3, p. 38-49, 2016.

FELTES, J. D. **Resíduos orgânicos como fonte nitrogenada: impacto no desenvolvimento do feijoeiro e na fauna edáfica**. 2023. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2023.

FERNANDES, P. H. Uso de fertilizantes organominerais fosfatados no cultivo de alface e de milho em sucessão. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 37907-37922, 2020.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Version 4.0. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

MARINONI, R. C. *et al*. **Hábitos alimentares em Coleoptera (Insecta)**. Ribeirão Preto: Holos. 2001. 64 p.

McCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **PC-ORD: multivariate analysis of ecological data**. Version 6.0. Gleneden Beach: MjM Software Design, 2011.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. *In:* BOTTOMLEY, P. J.; ANGLE, J. S.; WEAVER, R. W. (ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties.** Part 2. Madison: SSSA, 1994, p. 517-542.

OGINO, C. M. *et al*. Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 59, n. 1, p. e220367, 2020.

POMPEO, P. N. *et al*. Fauna and its relation to edaphic attributes in Lages, Santa Catarina-Brazil, **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 42-51, 2016.

RODRIGUES, J. D. **Compostagem de lodo de ETE e sua utilização na substituição parcial de fertilizantes minerais no cultivo do milho**. 2023. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2023.

SILVA, A. C. F. *et al*. Macrofauna edáfica em resposta à adubação orgânica em três diferentes plantios florestais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 21-30, 2014.

SILVA, E. M. B. *et al*. Adubação mineral, orgânica e organomineral na cultura do rabanete. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 23300-23318, 2020a.

SILVA, D. C. *et al*. Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14795-148146, 2020b.

TESSARO, D. *et al*. Fauna epiedáfica sob aplicação de cama de aves e adubação mineral. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 21, n. 2, 2019.

THOMANZINI, M. J.; THOMANZINI, A.P. B. W. **A fragmentação florestal e a diversidade de insetos nas florestas tropicais úmidas**. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2000. 21p. Circular Técnica, 57.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

FAUNA EDÁFICA E ATIVIDADE BIOLÓGICA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO ASSOCIADO A PLANTAS DE COBERTURA E MECANISMOS DE DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO

João Vitor Yamanaka Bonatto[1*], Nicole Gelinski de Sousa[1], Alex Batista Trentin[2], Paulo Cesar Conceição[3], Dinéia Tessaro[3]

[1]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil, *joaovitorbonatto@alunos.utfpr.edu.br, [2]Doutorando em Biotecnologia Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil, [3]Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil

RESUMO

Este estudo avaliou os impactos de práticas de manejo no solo, com o uso de plantas de cobertura e escarificação mecânica, sobre a fauna edáfica e atividade alimentar dos organismos. O experimento foi conduzido em área agrícola que utiliza diferentes sistemas de preparo do solo e plantas de cobertura. A fauna edáfica foi coletada pelo método *Pitfall-traps* e a atividade alimentar foi analisada pelo ensaio *Bait-Lamina*. Foram amostrados 6469 indivíduos de 17 grupos taxonômicos, com destaque para os grupos Collembola, Formicidae e Acari. No entanto, não houve diferenças significativas nos sistemas de preparo do solo ou nas plantas de cobertura sobre a composição da fauna edáfica. O consumo alimentar nas *Bait-Lamina* horizontais foi superior ao das verticais, com maior consumo na semana 4. O estudo ressalta a potencialidade do ensaio *Bait-Lamina* para avaliar a atividade biológica do solo em ambientes manejados.

PALAVRAS-CHAVE: *Bait-Lamina*; fauna do solo; sistema de plantio direto; plantas de cobertura.

INTRODUÇÃO

O Sistema Plantio Direto (SPD) é uma técnica sustentável, capaz de promover a reconstrução do solo degradado, a estabilidade de agregados, e o desenvolvimento da cobertura vegetal, sendo um importante mecanismo na redução dos impactos da chuva sobre o solo (Salomão *et al*., 2020). As plantas de cobertura, garantem a cobertura do solo associadas ao manejo de rotação de culturas no SPD, no período de entressafra, entre fileiras de cultivos arbóreos perenes, ou como cultivo principal em áreas de pastagem. Como efeitos associados controlam a erosão, aumentam a resistência do solo à desagregação, promovem a regulação térmica do solo, controlam plantas daninhas e reduzem a evaporação (Cherubin *et al*., 2022).

O solo como um substrato para a produção de alimentos, é caracterizado pela elevada diversidade de organismos (Parron *et al*., 2015). Entre eles, a fauna edáfica, constituída por centenas de espécies de invertebrados, atua em diversos processos edáficos fundamentais para a manutenção da qualidade solo, promovendo a vida, a saúde e a fertilidade do solo (Brown *et al*., 2015).

Esta pesquisa teve como objetivo, avaliar os impactos das práticas de manejo no solo, utilizando plantas de cobertura e escarificação mecânica em SPD sobre a estrutura e composição da fauna edáfica em experimento de longa duração, bem como relatar o uso pioneiro do ensaio de *bait lamina* nestas condições.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na UTFPR - Campus Dois Vizinhos. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho e o clima é do tipo Cfa subtropical úmido. O experimento foi implantado em 2015, em delineamento de blocos ao acaso com três repetições, composto por diferentes preparos de solo: Plantio Direto (PD): sem revolvimento do solo; Escarificação (PDE): com escarificador convencional Jumbo com 7 hastes, capaz de escarificar até 0,40 m de profundidade, com duas variantes: escarificação anual (PDEa) e a cada 3 anos (PDEi); Plantio Direto com Preparo Mínimo (PDPM): com escarificador específico para plantio direto com 4 hastes espaçadas a 0,70 m, com rolo destorroador e capacidade de escarificar até 0,5 m de

profundidade, com duas variantes: escarificação anual (PDPMa) e a cada 3 anos (PDPMi). As coberturas vegetais são: 1) Aveia, 2) Ervilhaca, 3) Nabo forrageiro, e 4) Consórcio aveia + ervilhaca + nabo.

A coleta da fauna edáfica foi realizada com a instalação de uma *Pitfall-traps* (Moldenke, 1994), por parcela experimental, totalizando 60 armadilhas, preenchidas em 2/3 de seu volume com solução de formol 4%, totalizando 60 armadilhas, as quais permaneceram 7 dias a campo. Após esse período, o conteúdo de cada armadilha foi lavado em peneira de 270 *mesh* e armazenado álcool absoluto para posterior classificação dos organismos ao menor nível taxonômico possível com estereomicroscópio em aumento de 40x.

O consumo alimentar foi avaliado pelo ensaio *Bait-Lamina*, utilizando uma massa nutritiva composta de 70% de celulose, 27% de farinha de trigo, 3% de carvão ativado e água destilada (Niva *et al*., 2021). Foram instaladas 16 *Bait-Lamina* (oito horizontalmente na superfície do solo e oito inseridas verticalmente), em cada parcela, resultando em 960 laminas. As coletas ocorreram aos 7, 14, 21 e 28 dias após a instalação, com a remoção de quatro varetas por período (2 horizontais e 2 verticais). As varetas foram analisadas em estereomicroscópio, para a verificação do consumo das iscas nos orifícios de cada lâmina, atribuindo os seguintes valores: nada consumido (0), parcialmente consumido (0,5) e totalmente consumido (1,0).

Os dados para fauna edáfica e o consumo das *Bait-Lamina*, foram analisados no software RStudio. Foi aplicada a correção do fator *p* para os dados de fauna e em seguida, realizada a análise permutacional não paramétrica (PERMANOVA). Quanto ao consumo para as *Bait-Lamina*, foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk, com nível de significância de 5%, seguido do teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da fauna edáfica, foram coletados 6469 organismos distribuídos em 17 grupos taxonômicos, com maior abundância de Collembola, Formicidae e Acari. Esses grupos são amplamente documentados em estudos de fauna edáfica (Góes *et al*., 2021) em distintos ecossistemas, evidenciando uma relação direta com as alterações micro ambientais promovidas pelo SPD em todos os tratamentos, independentemente da escarificação. Neste contexto, Silva *et al*. (2022) destacam que o aporte de resíduos orgânicos pelo SPD modula positivamente a estrutura de determinados grupos, incluindo os mencionados.

Segundo a nMDS (Figura 1A), observa-se que algumas comunidades tendem a diferenciar em função do sistema de preparo, mas de modo geral, as comunidades são similares em frequência e abundância.

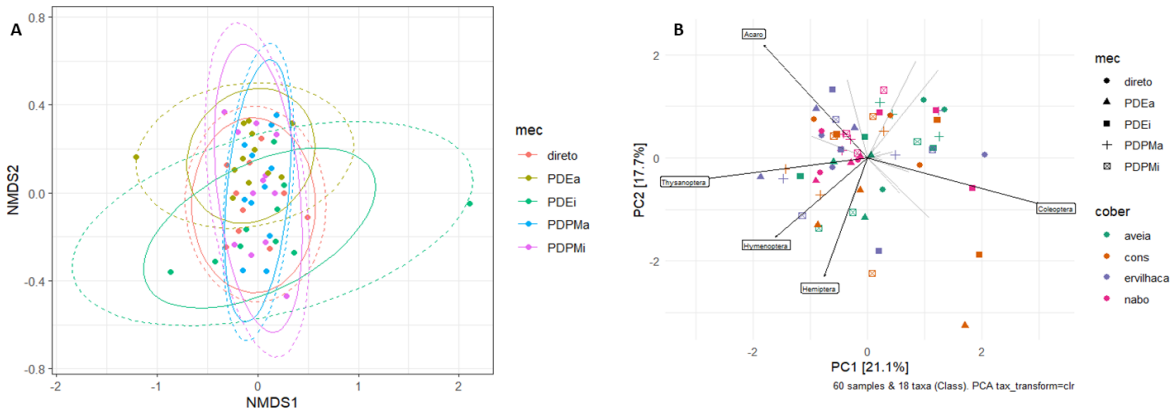


Figura 1. **(A)**: Análise de escala multidimensional não métrica (nMDS) e (**B**) Análise de componentes principais para a fauna edáfica associada a sistemas de descompactação de solo e plantas de cobertura.

A análise de componentes principais (Figura 1B) realizada para avaliar o efeito da mecanização e das coberturas vegetais sobre a fauna edáfica analisou os dois primeiros componentes que explicaram aproximadamente 38,8% da variação total nos dados. Isso indica que as diferenças entre as amostras são

distribuídas em vários eixos de variação. A análise de PERMANOVA adonis2, com 999 permutações mostrou que o modelo Mecanização + Cobertura explica 19,1% R^2 = 0,191 da variação na composição dos organismos, com um p = 0,092. Assim, a 5%, não é significativo e indica que não há diferenciação clara entre o SPD e os outros preparos. Esses resultados refletem a alta complexidade do sistema, indicando que tanto a variação intrínseca da fauna do solo quanto a possível influência de outros fatores podem estar contribuindo para a distribuição dos grupos edáficos. Sendo assim, após 10 anos de implantação, os sistemas e plantas de cobertura adotados, não afetaram a dinâmica da fauna edáfica. Segundo Brito *et al*. (2014), as condições do solo geradas permanecem semelhantes, independentemente das plantas de cobertura.

Com relação à composição da fauna edáfica, a PERMANOVA indicou que não houve diferença estatística significativa dos sistemas de preparo e plantas de cobertura sobre este parâmetro.

A atividade alimentar para as diferentes plantas de cobertura e sistemas de mecanização, apresentou valores estatisticamente equivalentes para as lâminas horizontais quanto verticais (Tabela 1).

Em relação às semanas, nas varetas horizontais, a maior média de consumo ocorreu nas semanas 3 e 4, enquanto nas lâminas verticais, ocorreu na semana 4. Os resultados estão em consonância com Gongalsky *et al*. (2004), indicando que o aumento do tempo de exposição está relacionado ao incremento do consumo alimentar pelos organismos edáficos. A menor média de consumo aos 7 dias para lâminas horizontais e verticais pode ser reflexo da alta umidade associada as baixas temperaturas no período, capazes de reduzir a atividade alimentar (Cotta, 2016), pois são fatores de estruturação da comunidade edáfica, já que a ação microbiana e a acidez do solo (Giácomo *et al*., 2017). O maior consumo médio das lâminas horizontais em relação as verticais, corrobora com os estudos de Podgaiski; Silveira; Mendonça (2011), uma vez que, a atividade biológica é maior na superfície e diminui gradativamente em profundidade, afetando o consumo.

Tabela 1. Médias de consumo de iscas alimentares horizontais e verticais para o teste *Bait-Lamina*, em sistema com diferentes mecanismos de descompactação de solo e plantas de cobertura.

Cobertura	***Bait-Lamina***	
	Horizontal	**Vertical**
Nabo	2.75 a	2.11 a
Aveia	2.71 a	1.68 a
Ervilhaca	2.56 a	1.92 a
Consórcio	2.69 a	1.89 a
Semana		
S1	0.88 c	1.06 c
S2	2.41 b	0.90 c
S3	3.72 a	2.42 b
S4	3.71 a	3.22 a
Mecanização		
Plantio Direto	2.56 a	2.19 a
Jumbo anual	2.79 a	2.06 a
Jumbo 15, 18 e 21	2.59 a	1.74 a
Terrus anual	2.64 a	1.78 a
Terrus 15, 18 e 21	2.79 a	1.71 a

Notas: Os dados foram tratados com raiz quadrada.

CONCLUSÕES

Não foram identificados efeitos observáveis na abundância e diversidade de organismos em relação aos sistemas de preparo e plantas de cobertura.

Não houve efeito significativo dos sistemas de preparo e das plantas de cobertura combinadas sobre a taxa de consumo em *Bait-Lamina*, apenas do fator tempo de exposição das laminas.

Os resultados demonstram que o ensaio de *Bait-Lamina* apresenta muitas potencialidades de uso, pois permite acessar o status da atividade biológica do solo, o qual é um bom indicativo das taxas de decomposição da matéria orgânica, em ambientes manejados pelo homem. Destaca-se que técnica não seja negligenciada, visto a sua potencialidade em oferecer resultados rápidos e aplicáveis a diferentes ambientes.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Agrisus pelo apoio financeiro via Termo de Convenio (PA 3422/22) e a Fundação Araucária via Termo de Convenio (282/2022) para o NAPI Sudoeste.

BIBLIOGRAFIA

BROWN, G.G. *et al*. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. *In:* L. M. Parron, J. R., Garcia, E. B. de Oliveira., G. G. Brown., & R. B. Prado (Eds.), **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. Cap. 10. p. 121-154.

BRITO, M.F. de *et al*. Diversidade da fauna edáfica e epigeica de invertebrados em consórcio de mandioca com adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, p. 253-260, 2016.

CHERUBIN, M. R. *et al*. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo.** ESALQ/USP, Piracicaba, 2022. v. 1, n. 6, p. 1-124.

COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. *In:* E. J. B. N. Cardoso, F. D. Andreote (Orgs). **Microbiologia do solo**. Piracicaba: ESALQ, 2016. 2 ed. P. 23-35.

GIÁCOMO, R. G. *et al*. Soil fauna: Bioindicator of soil recovery in Brazilian savannah. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Dois Irmãos, v. 12, n. 2, p. 236-243, 2017.

GÓES, Q. R. *et al*. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 123-144, 2021.

GONGALSKY, K. B. *et al*. Stratification and dynamics of *Bait-Lamina* perforation in three forest soils along a north–south gradient in Russia. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 111-122, 2004.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. *In:* BOTTOMLEY, P. J.; ANGLE, J. S.; WEAVER, R. W. (Eds.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Part 2. Madison: SSSA, 1994, p. 517-542.E

NIVA, C. C. *et al*. **Método *Bait-Lamina* para a avaliação da atividade alimentar de invertebrados edáficos**: **eficiência, limitações e adaptações para seu uso**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2021.

PARRON, L. M.; RACHWAL, M. F. G.; MAIA, C. M. B. F. Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais. *In:* PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica.** Brasília: Embrapa, 2015. Cap 7. p. 92-100.

PODGAISKI, L. R.; SILVEIRA, F. S.; MENDONÇA JR, M. Avaliação da atividade alimentar dos invertebrados de solo em campos do Sul do Brasil–*bait-lamina test*. **EntomoBrasilis**, Vassouras, v. 4, n. 3, p. 108-113, 2011.

SALOMÃO, P. E. A. *et al*. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870.

SILVA S. I. A. *et al*. Influência de sistemas de Cultivo sobre a comunidade da fauna edáfica no nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, p. 829-855, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

BIODIVERSIDADE DA FAUNA EDÁFICA EM SISTEMA DE SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS ASSOCIADOS AO USO DE PLANTAS DE COBERTURA

Erivelo Folhato Tolfo[1], João Vitor Yamanaka Bonatto[2*], Lucas da Silva Domingues[3], Paulo Fernando Adami[3], Dinéia Tessaro[3]

[1]Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Brasil; [2]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil, *joaovitorbonatto@alunos.utfpr.edu.br; [3]Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil

RESUMO

Este estudo avaliou a biodiversidade da fauna edáfica em sistemas de rotação e sucessão de culturas associados ao uso de plantas de cobertura no Sistema Plantio Direto. O experimento envolveu quatro sistemas de produção com diferentes manejos e plantas, monitorado ao longo de três épocas: entressafra, primeira safra e safrinha. A fauna foi coletada pelo método *Pitfall-traps* e analisada através de índices ecológicos e análises multivariadas. A fauna foi influenciada pela sazonalidade e pelos sistemas de cultivo, com destaque para os grupos Collembola, Acari, Formicidae e Diptera. A análise multivariada indicou diferenças entre os sistemas de produção, com maior abundância na 1ª safra e, menor na entressafra, sendo os grupos mencionados os principais responsáveis pela diferenciação. Conclui-se que os sistemas de rotação e sucessão promovem melhoria na qualidade do solo, que pode beneficiar a fauna edáfica.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de produção; plantio direto; fauna do solo.

INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas agrícolas mais sustentáveis, como o Sistema Plantio Direto (SPD), representa uma estratégia eficaz para melhorar a sustentabilidade agrícola, pois contribui para a redução dos processos erosivos e aumento da matéria orgânica (Possamai *et al*., 2022). As plantas de cobertura, em conjunto com o manejo de rotação de culturas no SPD, protegem o solo, auxiliam no controle da erosão, na regulação térmica e manutenção umidade (Carvalho *et al*., 2022). Associado a isso, o mínimo revolvimento do solo, a rotação e sucessão de culturas, bem como o uso de plantas de cobertura, contribuem para a manutenção da diversidade da fauna edáfica pelas condições edafoclimáticas alcançadas (Balin *et al*., 2017). A fauna edáfica desempenha importantes funções nos ecossistemas, como fragmentação de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, aeração, mobilização de nutrientes e controle da cadeia trófica (Choudhary *et al*., 2018).

Perante o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a biodiversidade da comunidade da fauna edáfica em sistema de sucessão e rotação de culturas associadas ao uso de plantas de cobertura em SPD.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo é caracterizado como um experimento de longa duração, que iniciou no ano de 2018 na safra de verão. O experimento possui área de 3 hectares, composta por quatro sistemas distintos de produção: (1) Sistema de sucessão 1 – SS1; (2) Sistema de sucessão 2 – SS2; (3) Sistema de rotação 1 – SR1;(4) Sistema de rotação 2 – SR2. Cada sistema de produção (parcela principal), foi subdividido em seis sub-parcelas, que receberam estratégias diferentes de manejo, com uso de plantas de viés de grão e/ou plantas de cobertura. Isso totalizou 24 arranjos produtivos (bifatorial 4 x 6, totalizando 24 tratamentos) com três repetições. As parcelas principais (12 no total) são representadas pelo cultivo da primeira safra dentro de cada ano agrícola e as sub-parcelas (72 no total) pela safrinha com plantas de interesse comercial ou plantas de cobertura.

A coleta da fauna edáfica foi realizada pelo método *Pitfall-traps* durante a fase de enchimento dos grãos das culturas em três etapas: Coleta 1: mês de agosto/entressafra 2020 (inverno); Coleta 2: dezembro/1ª safra 2020/2021 (primavera); Coleta 3: abril/safrinha 2020/2021 (outono). Em cada subparcecla, uma

armadilha foi instalada, totalizando 72 amostras por coleta. Após 6 dias a campo o conteúdo das armadilhas foi triado e os organismos classificados ao nível taxonômicos de ordem ou família com estereomicroscópio.

Os dados foram submetidos a PERMANOVA para testar as diferenças na composição dos grupos edáficos, considerando o efeito das subparcelas, os sistemas e os períodos amostrais. Constatada a diferença entre os sistemas, foi realizada uma análise dos grupos aos pares. A contribuição dos grupos em cada tratamento, foi verificada pela análise de SIMPER. Foram determinados os índices ecológicos, submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e à ANOVA, e comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram amostrados 100.728 indivíduos, distribuídos em 19 grupos taxonômicos. Os grupos mais abundantes em todos os sistemas foram Collembola, Acari, Diptera e Formicidae. Estes grupos possuem diferentes hábitos alimentares e ampla distribuição no ambiente, e podem apresentar elevada densidade em áreas com diferentes coberturas vegetais, independente de estação chuvosa ou seca (Giácomo *et al*., 2017). Segundo Silva *et al*. (2022), o aporte de resíduos orgânicos ao solo, influenciados pelo SPD, afeta positivamente o desenvolvimento de alguns grupos edáficos, incluindo os citados.

Conforme a tabela 1, houve diferença para a abundância média e índices ecológicos entre as épocas de coleta. Esse resultado indica que, assim como as plantas de cobertura, a condição sazonal afeta a fauna edáfica, principalmente pela variação na oferta de recursos alimentares em cada período (Balin *et al*., 2017).

Tabela 1: Abundância e riqueza média de grupos taxonômicos, índice de dominância de Simpson, diversidade de Shannon, riqueza de Margalef e uniformidade de Pielou para à fauna edáfica em sistemas de rotação e sucessão de culturas associada ao uso de plantas de cobertura.

	Média das três épocas de coleta		
Índices Ecológicos	Entressafra	1ª Safra	Safrinha
Abundância média	1289,00 c	5030,58 a	2081,00 b
Riqueza média	15,27 a	14,92 a	15,33 a
Dominância de Simpson (C)	0,24 b	0,49 a	0,26 b
Diversidade de Shannon (H')	1,78 a	1,04 b	1,66 a
Riqueza de Margalef (DMg)	2,01 a	1,64 b	1,88 a
Uniformidade de Pielou	0,65 a	0,38 b	0,61 a

Notas: Dados da média das três épocas de coleta. *Médias nas linhas seguidas de letras distintas diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Durante a coleta de 1ª safra, houve maior abundância e dominância de Simpson, associados a elevada frequência de colêmbolos. Durante a entressafra e safrinha, foram observados os maiores valores para o índice de Shannon e riqueza de Margalef. Os valores obtidos para o DMg, foram estatisticamente iguais a 2,0, valor mínimo para solos diversos e ricos (Santos *et al*., 2018). A menor abundância de organismos nessas avaliações contribuiu para melhor uniformidade, minimizando o efeito da dominância de grupos específicos.

A PERMANOVA mostrou que não houve diferença significativa na composição da fauna edáfica nos sistemas de cultivos, apenas para os sistemas de produção, nos três períodos de coleta. A ausência de efeito dos sistemas de cultivos, pode ser reflexo da recente implementação dos arranjos produtivos, pois as condições edáficas criadas pelas plantas são semelhantes, mesmo com diferentes plantas de cobertura e de interesse comercial (Brito *et al*., 2014). Os efeitos do mix de plantas sobre a fauna edáfica são observados em longo prazo.

Na ausência de efeito dos sistemas de cultivos e da interação entre sistemas e subparcelas, a fauna edáfica foi avaliada pela PERMANOVA comparando os sistemas par a par (Tabela 2). A análise de SIMPER, mostra os grupos edáficos de maior contribuição para a separação dos sistemas (Figura 1).

Tabela 2: Análise de variância permutacional não paramétrica (PERMANOVA) aplicada aos organismos da fauna edáfica em sistemas de produção de rotação e sucessão associados a plantas de cobertura.

Interação	Entressafra	1ª safra	Safrinha
	----------	p – Valor ----------	
SS1 – SS2	0,0006*	0,0001*	0,0716
SS1 – SR1	0,0020*	0,0073*	0,0769
SS1 – SR2	0,004*	0,0001*	0,0949
SS2 – SR1	0,016*	0,2259	0,2234
SS2 – SR2	0,128	0,0995	0,021*
SR1 – SR2	0,0174*	0,0263*	0,2865

Nota: SS1: sistema de produção 1/sucessão 1; SS2: sistema de produção 2/sucessão 2; SR1: sistema de produção 3/rotação 1; SR2: sistema de produção 4/rotação 2; Valores de p* indicam variação significativa para p<0,05.

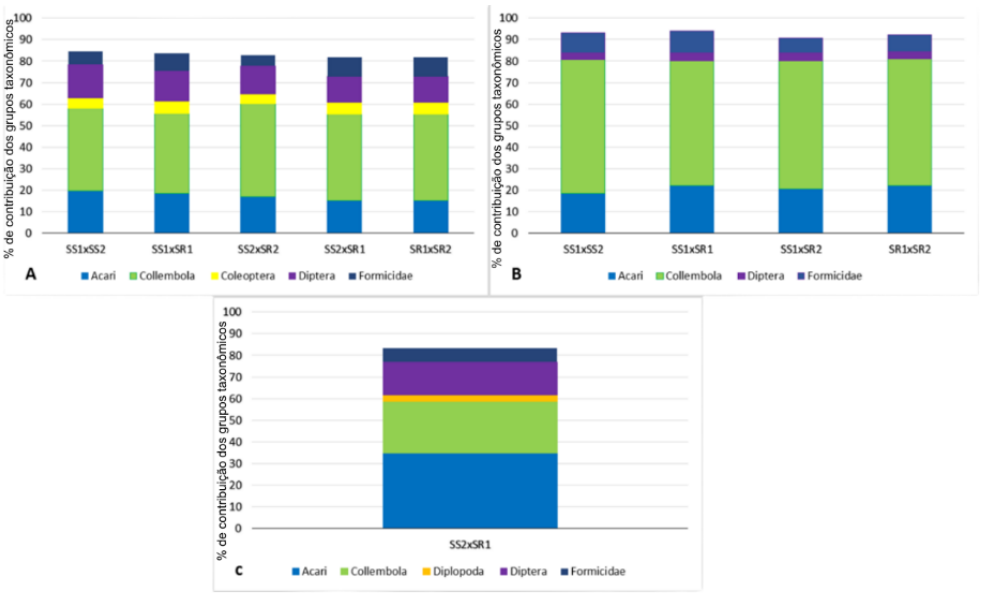


Figura 1: Porcentagem de contribuição dos grupos taxonômicos da fauna edáfica em solo conduzido em sistemas de rotação e sucessão de culturas associadas ao uso de plantas de cobertura, para diferenciação dos sistemas, correspondente a entressafra 2020 (A), 1ª safra 2020/2021 (B) e safrinha de 2021 (C)
Nota: SS1: sistema de produção 1; SS2: sistema de produção 2; SR1: sistema de produção 3; SR2: sistema de produção 4.

A PERMANOVA indicou diferenças significativas na entressafra entre todos os sistemas, exceto entre SS2xSR2, enquanto a análise de SIMPER mostra que os grupos taxonômicos com maior contribuição para diferenciação das áreas foram Acari, Collembola, Coleoptera, Diptera e Formicidae (Fig.1A). A semelhança no comportamento da fauna, pode estar ligada ao fato de que durante a coleta, a palhada em decomposição da cultura anterior era a soja em ambos os sistemas, apesar do SS2 ser um sistema de sucessão e o SR2 rotação.

Na 1ª safra houve diferenças significativas entre os sistemas SS1xSS2; SS1xSR1; SS1xSR2 e SR1xSR2. Os grupos de maior contribuição para diferenciação dos foram Collembola, seguido por Acari, Formimicidae e Diptera (Fig. 1B). A alta precipitação e temperatura no mês de dezembro, são benéficos aos colêmbolos, pois favorecem o desenvolvimento de microrganismos que servem de alimento ao grupo (Rendoš *et al*., 2016).

Na comparação da safrinha somente os sistemas SS2xSR2 apresentaram diferença estatística. Essa similaridade da fauna, reflete a maior diversidade de espécies vegetais nos sistemas, pois naqueles onde há serapilheira mais heterogênea, há oferta diversificada de alimento, beneficiando o desenvolvimento de toda a rede trófica destes organismos (Rosa *et al*., 2015). Neste período, a diferenciação das áreas foi determinada pelos grupos Acari, Collembola, Diplopoda, Diptera e Formicidae (Fig. 1C).

Considerando a importância da fauna edáfica, é clara a necessidade de ampliar o conhecimento sobre o tema. Diversos trabalhos demostram o alcance de múltiplos objetivos da sustentabilidade ao considerar a fauna edáfica como elemento chave em avaliações de gestão da terra. Dessa forma, como indicações gerais de manejo, destaca-se à conservação do solo com a promoção do aumento de palhada, sucessão de culturas associadas ao uso de plantas de cobertura com espécies de alto aporte de massa seca após seus ciclos.

CONCLUSÕES

A biodiversidade da fauna edáfica nos sistemas de rotação e sucessão de culturas, associadas ao uso de plantas de coberturas, foi elevada. Os grupos taxonômicos mais frequentes nos quatro sistemas de produção, independente da época do ano, foram Collembola, Acari, Formicidae e Diptera. Conclui-se que os sistemas de rotação e sucessão promovem melhoria na qualidade do solo, que pode beneficiar a fauna edáfica. Entretanto, houve efeito da sazonalidade na abundância da fauna edáfica nos diferentes sistemas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pelo apoio financeiro (n.º 88887.612319/2021-00), ao GPBIOS e ao PPGSIS.

BIBLIOGRAFIA

BALIN, N. M. *et al*. Fauna edáfica sob diferentes sistemas de manejo do solo para produção de cucurbitáceas. **Scientia agraria**, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 74-84, 2017.

BRITO, M. F. de *et al*. Diversidade da fauna edáfica e epigeica de invertebrados em consórcio de mandioca com adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, p. 253-260, 2016.

CARVALHO, M. L. *et al*. Guia prático de plantas de cobertura. **Aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo**. ESALQ/USP, Piracicaba, 2022.

CHOUDHARY, M. *et al*. Changes in soil biology under conservation agriculture based sustainable intensification of cereal systems in Indo-Gangetic Plains. **Geoderma**, Amsterdã, v. 313, p. 193-204, 2018.

GIÁCOMO, R. G. *et al*. Soil fauna: Bioindicator of soil recovery in Brazilian savannah. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Dois Irmãos, v. 12, n. 2, p. 236-243, 2017.

POSSAMAI, E. J. *et al*. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re) view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 46, p. e0210104, 2022.

RENDOŠ, M; MOCK, A; MIKLISOVÁ, D. Terrestrial isopods and myriapods in a forested scree slope: subterranean biodiversity, depth gradient and annual dynamics. **Journal of Natural History**, Londres, v. 50, n. 33-34, p. 2129-2142, 2016.

ROSA, M.G. da *et al*. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1544-1553, 2015.

SILVA S. I. A. *et al*. Influência de sistemas de cultivo sobre a comunidade da fauna edáfica no nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, p. 829-855, 2022.

SANTOS, M.A.B. dos *et al*. Morphological diversity of springtails in land use systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, p. e0170277, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ASSOCIAÇÃO DE COLEÓPTEROS EDÁFICOS EM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES FONTES DE NUTRIENTES ORGÂNICOS E MINERAIS

Nicole Gelinski de Sousa[1*], Jéssica Camile da Silva[2], Hellen Cristina Palinski[1], Carlos Alberto Casali[3], Dinéia Tessaro[3]

[1]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil, *nicolegelinski@alunos.utfpr.edu.br, [2]Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Brasil. [3]Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná Brasil

RESUMO

O estudo analisou a composição de coleópteros edáficos em experimento utilizando fertilizantes orgânicos e minerais. Os tratamentos foram: controle (sem adubação; adubação mineral na linha; adubação mineral a lanço; cama de aves; dejeto líquido de bovinos; dejeto líquido de suínos. Para a coleta de organismos edáficos, foram instaladas 24 *Pitfall-traps,* e os coleópteros classificados em nível taxonômico de família. Não foram observados efeitos significativos para abundância e diversidade entre os tratamentos. O tratamento controle apresentou os piores índices ecológicos, enquanto os demais apresentaram comportamento inverso. A análise de componentes principais indicou que não houve distinção clara entre os tratamentos em função de sua composição biológica. Os resultados sugerem que o manejo adequado de fertilizantes favorece a diversidade de coleópteros edáficos e contribui para a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: coleopterofauna; fontes de nutrientes; diversidade edáfica; reúso na agricultura.

INTRODUÇÃO

A pecuária é responsável pela geração de grande volume de resíduos orgânicos, os quais são amplamente utilizados como insumos fertilizantes em sistemas agrícolas devido ao seu potencial de aporte de nutrientes ao solo (Silva; Tagliaferro *et al*., 2025). No entanto, seu uso e manejo inadequados podem ocasionar o desbalanço fisiológico vegetal e a acidificação do solo, especialmente em fontes nitrogenadas. Além disso, o excesso de nutrientes pode ser carreado para o lençol freático ou corpos hídricos superficiais, intensificando processos de eutrofização, favorecendo a proliferação de microrganismos potencialmente patogênicos, ou ainda, afetar a fauna edáfica, com impactos sobre a sua dinâmica e funcionalidade dos processos ecossistêmicos associados (Baretta *et al*., 2003; Guimarães *et al*., 2021; Silva *et al*., 2019).

A fauna do solo está associada a diversos processos edáficos, influenciando a estruturação física do solo, a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica, a modulação da porosidade e da infiltração hídrica, bem como a degradação de compostos poluentes (Silva *et al*., 2022). Dessa forma, contribui diretamente para a homeostase edáfica, através da complexificação das redes tróficas (Alves *et al*., 2020; Silva *et al*., 2022). Entre os representantes da fauna edáfica, a ordem Coleoptera tem papel relevante na decomposição de excrementos e resíduos de origem animal e vegetal, favorecendo a ciclagem de nutrientes e o funcionamento dos ecossistemas terrestres (Baretta *et al*., 2011; Baretta *et al*., 2014).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a abundância e diversidade de coleópteros edáficos em experimento de longa duração utilizando fertilizantes orgânicos e minerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Dois Vizinhos, entre as coordenadas geográficas 25º44’01’’S e 53º03’26’’, e altitude de 509 metros, no mês de abril de 2024. Segundo a classificação de Koppen, a região apresenta clima subtropical úmido, do tipo Cfa, com precipitação média anual de 2.000 mm (Alvarez *et al*., 2013), e o solo é classificado com Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2018). O experimento implantado no ano de 2019 é composto por 24 parcelas experimentais de 12 m² (2m de largura × 6m de comprimento) em área de declive e os tratamentos distribuídos segundo

delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo: C: sem adubação (controle); AML: adubação mineral na linha (400 kg.ha^{-1}); AMLN: adubação mineral a lanço (400 kg.ha^{-1}); CA: cama de aves (3.175 kg.ha^{-1}); DLB: dejeto líquido de bovinos (79,4 m3.ha^{-1}); DLS: dejeto líquido de suínos (63,5 m3.ha^{-1}). A aplicação dos fertilizantes foi realizada duas vezes ao ano, totalizando até a coleta, 8 aplicações.

Para a coleta dos organismos edáficos, foi instalada em cada parcela, 1 *Pitfall-trap* (Moldenke, 1994), com 2/3 do seu volume preenchido com solução conservante de formol a 4%. Após sete dias a campo, o conteúdo das armadilhas foi lavado individualmente em peneira de malha fina 270 *Mesh* e armazenado em solução de álcool 70%, com posterior classificação dos organismos da ordem Coleoptera ao nível taxonômico de família com auxílio de lupa binocular.

Os dados foram avaliados quanto a frequência relativa, utilizando o software Excel. Em seguida, foram avaliados quanto a abundância e riqueza médias as quais foram submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e à análise de variância (ANOVA), seguido da comparação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo software Rbio. Os dados foram ainda analisados pelo software PC-ORD 6.0 (Mccune; Mefford, 2001), para determinação dos índices ecológicos de diversidade de Shannon-Wiener (H'), dominância de Simpson (C) e diversidade de Peilou (J). Com o intuito de analisar a distribuição dos organismos e diferenciação entre os tratamentos, foi realizada a Análise de Componentes Principais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram amostrados, ao total, 39 organismos, distribuídos em 8 famílias, sendo: Anthicidae, Chrysomelidae, Elateridae, Leiodidae, Nitdulidae, Scarabaeidae, Staphylinidae e Tenebrionidae. Destes, os mais frequentes foram Nitidulidae, Staphylinidae e Anthicidae.

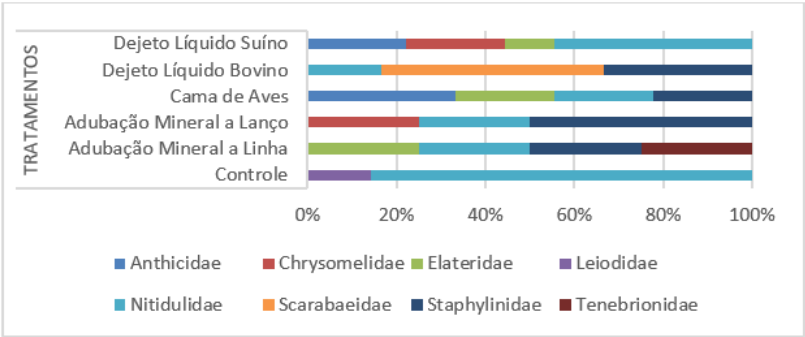


Figura 1. Frequência relativa de famílias de Coleoptera em área cultivada com feijão e uso de diferentes fertilizantes orgânicos e minerais.

A grande frequência de Nitidulidae no tratamento controle pode ser atribuída a ausência de intervenções no ambiente edáfico, que proporciona maior estabilidade, e oferece condições favoráveis para a proliferação de grupos adaptados a substratos naturais e não perturbados. Galdino-da-Silva *et al* (2016), destacam que essa família responde bem a mudanças ecológicas, o que sugere seu potencial como bioindicador. Nos tratamentos com adição de fertilizantes ou resíduos orgânicos, Nitidulidae ainda esteve presente, embora em menor abundância, possivelmente como resposta a mudanças nas condições do solo, como a disponibilidade de nutrientes e a estrutura do habitat.

Os organismos da família Anthicidae, caracterizados como cosmopolitas e predadores, alimentam-se predominantemente de pequenos invertebrados mortos, larvas e matéria orgânica (Collado, 2014) e habitam locais com acúmulo de detritos, folhas e matéria orgânica (Audino *et al*., 2007), o que justifica sua maior frequência associada à cama de aves. Por fim, a elevada ocorrência de formigas nesse tratamento pode ter

contribuído para a abundância de Anthicidae, uma vez que algumas espécies dessa família apresentam interações ecológicas associativas com formigas (Bastos *et al*., 2003).

Em relação às variáveis riqueza e abundância, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 1). Quanto aos índices ecológicos, o tratamento controle apresentou maior dominância, menor diversidade e homogeneidade, enquanto os demais apresentaram comportamento inverso. A menor diversidade no controle pode ser reflexo da menor cobertura vegetal, limitando a ocorrência de nichos específicos para famílias mais especialistas. O tratamento AML destaca-se pela maior diversidade e máxima uniformidade, indicando maior homogeneidade na distribuição das famílias de coleópteros.

Tabela 1. Riqueza e abundância médias, índices ecológicos de dominância de Simpson, diversidade de Shannon e equitabilidade de Pielou em áreas cultivadas com feijão e uso de fertilizantes orgânicos e minerais.

	C	AML	AMLN	CA	DLB	DLS
Riqueza média	1,25^{ns}	1,00	0,75	1,50	1,00	1,50
Abundância média	1,75^{ns}	1,00	1,00	2,25	1,50	2,25
Simpson (C)	0,75	0,25	0,37	0,26	0,39	0,31
Shannon (H')	0,41	1,39	1,04	1,37	1,01	1,27
Pielou (J)	0,59	1,00	0,94	0,99	0,92	0,92

Notas: C: Controle; AML: adubação mineral na linha; AMLN: adubação mineral a lanço; CA: cama de aves; DLB: dejeto líquido de bovinos; DLS: dejeto líquido de suínos; Médias nas linhas seguidas de ns não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

A análise de componentes principais (Figura 2) explicou 40,62% da variância total dos dados. Observa-se que não há uma distinção clara entre os tratamentos, exceto para o tratamento com dejeto suíno, ao qual estão associadas as famílias Chrysomelidae e Elateridae.

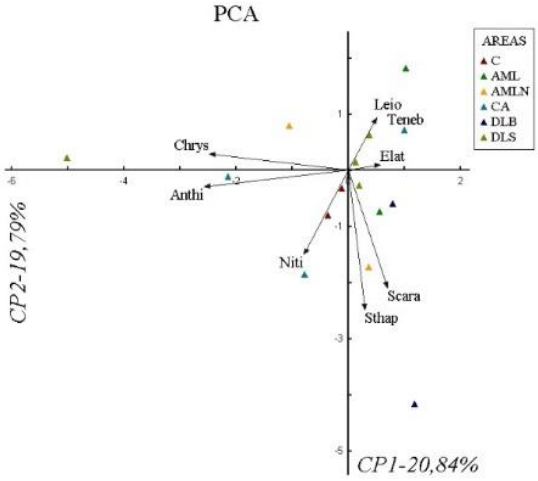


Figura 2. Análise de componentes principais para famílias de coleópteros edáficos relacionadas a solo com uso de fertilizantes orgânicos e minerais.

Notas: Anthi - Anthicidae; Chrys-Chrysomelidae; Elat - Elateridae; Leio - Leiodidae; Niti - Nitidulidae; Scara - Scarabaeidae; Sthap - Staphylinidae; Teneb – Tenebrionidae; C – Controle; AML: adubação mineral na linha; AMLN: adubação mineral a lanço; CA: cama de aves; DLB: dejeto líquido de bovinos; DLS: dejeto líquido de suínos.

CONCLUSÕES

O tratamento Controle apresentou maior dominância, associada principalmente à família Nitidulidade.

Não houve distinção clara na composição da comunidade de coleópteros nas condições testadas, à exceção das famílias Chrysomelidae e Elateridae, correlacionados a tratamento com dejetos suínos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à A FA/SETI/SENAR pelo financiamento da pesquisa e concessão de bolsa ao primeiro autor, a UTFPR-DV, e aos grupos de pesquisa de pesquisa Biologia do Solo e Biofert da UTFPR-DV.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A. *et al*. **Köppen 's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AUDINO, L. D. *et al*. **Identificação dos Coleópteros (Insecta: Coleoptera) das Regiões de Palmas (município de Bagé) e Santa Barbinha (Município de Caçapava do Sul, RS)**; Embrapa: Bagé, pág. 92, 2007.

ALVES, M. V. *et al*. Fauna edáfica em diferentes usos do solo. **Acta Biológica Catarinense**, Joinville, v. 7, n. 1, p. 37-45, 2020.

BARETTA, D. *et al*. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista Ciência Agroveterinárias,** Lages. v. 2, p. 97-106, 2003

BARETTA, D. *et al*. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, 2011; v. 7, p. 119-170.

BARETTA, D. *et al*. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 45, p. 871-879, 2014.

BASTOS, C. S. *et al*. Incidência de insetos fitófagos e de predadores no milho e no feijão cultivados em sistema exclusivo e consorciado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 391-397, 2003.

COLLADO, J.; BOLAÑO, J A. S. Catálogo comentado de los Anthicidae y Aderidae (Coleoptera) de la provincia de Badajoz (Extremadura, España). **Boletín de la SEA**, España. Bol, n. 54, p. 342-348, 2014.

SILVA, M. P; TAGLIAFERRO, E. R. Reaproveitamento energético dos resíduos da suinocultura na Universidade Brasil-Fernandópolis-SP. **Revista VIDA: Exatas e Ciências da Terra**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 36-54, 2024.

GALDINO-DA-SILVA, T.; TREVISAN, H.; CARVALHO, A. G. Análise da ocorrência de seis grupos de Coleoptera em dois ecossistemas perturbados ecologicamente. **EntomoBrasilis**, Vassouras, v. 9, n. 3, p. 187-192, 2016.

GUIMARRÃES, N. F. *et al*. Fauna do solo associada a diferentes sistemas de cultivo. **Research, Society And Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 2, p. e54610212787, 2021.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6.0. MjM Software, **Gleneden Beach**, Oregon, U.S.A. 2001.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. *In:* BOTTOMLEY, P. J.; ANGLE, J. S.; WEAVER, R. W. (Eds.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Part 2. Madison: SSSA, 1994, p. 517-542.

SANTOS, H.G. *et al*. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** – 5. ed., rev. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, C. F. *et al*. Produção de feijão-caupi em função do emprego de inoculante e adubos orgânicos e mineral. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema, v. 4, n. 3, p. 1130-1145, 2019.

SILVA, S. I. A. *et al*. Influência de sistemas de cultivo sobre a comunidade da fauna edáfica no nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, p. 829-855, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM ÁREA DE SPD COM E SEM TERRACEMENTO

Laura Vitória Dos Anjos Fucilini*, Carlos Alberto Casali[2], Arian Martins Sartor[3], Dinéia Tessaro[2], André Pellegrini[2]

[1]Estudante Graduação, UTFPR, Dois Vizinhos. *lauraf@alunos.utfpr.edu.br; [2]Professor de solos, UTFPR, Dois Vizinhos; [3]Discente de graduação Agronomia, UTFPR, Dois Vizinhos.

RESUMO

A erosão do solo é um problema significativo nas lavouras, comprometendo a qualidade e sustentabilidade do solo. O terraceamento pode ajudar a reduzir os fluxos de água e melhorar a sua retenção, mas seus efeitos sobre a atividade microbiológica ainda são pouco estudados. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os impactos do terraceamento sobre os atributos microbiológicos do solo em áreas sob plantio direto no Sudoeste do PR. O experimento está instalado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV), localizada no município de Dois Vizinhos, na Mesorregião Geográfica do Sudoeste Paranaense. A região apresenta uma declividade média de 8% e, ao longo de mais de 20 anos, foi cultivada com terraços de base larga sob o sistema de plantio direto (SPD). O experimento está dividido em duas mega parcelas de 1,8 hectares cada, sendo uma com e a outra sem terraceamento. Em outubro de 2024 foram amostrado o solo na camada de 0-10 cm, que foi peneirado em malha 2,0 mm e analisando quanto a respiração basal e teor de carbono e nitrogênio microbiano. O terraceamento aumentou a respiração basal do solo e o teor de C e N microbiano, comparado a área sem terraceamento, indicando que essa prática de conservação do solo também melhora os atributos microbiológicos do solo, promovendo maior sustentabilidade nas práticas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: Conservação do solo; microbiologia do solo; erosão hídrica.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a degradação das áreas agrícolas impulsionou pesquisas sobre práticas de manejo que minimizassem a erosão do solo, como o terraceamento. Durante os anos 1980 e 1990, o estado do Paraná implementou amplamente o terraceamento, junto a outras práticas conservacionistas, por meio de programas como o PMISA e o PARANÁ RURAL. Contudo, nos últimos anos essa prática mecânica deixou de ser prioridade e até mesmo foi suprimida em larga escala das lavouras parananenses, voltando processos erosivos em muitas áreas agrícolas que estavam com esse problema resolvido.

A microbiologia do solo é crucial para compreender como os processos biológicos influenciam a fertilidade e sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas. A interação entre microrganismos e componentes abióticos como carbono e nitrogênio é essencial para o ciclo de nutrientes e a saúde do solo (Anderson & Domsch, 1993). O terraceamento, uma técnica que visa reduzir a erosão e melhorar a retenção de água, pode influenciar a dinâmica microbiológica, alterando parâmetros como carbono e nitrogênio microbianos e a respiração basal do solo (Pimentel *et al*., 1995; Bastida *et al*., 2006).

Estudos indicam que o impacto do terraceamento sobre a microbiota do solo pode ser positivo ou negativo, dependendo das condições ambientais e das práticas adotadas (Lehmann *et al*., 2011). O terraceamento pode aumentar a biomassa microbiana e a retenção de carbono no solo, favorecendo a preservação da matéria orgânica. Contudo, seus efeitos sobre a microbiota ainda são estudados, variando conforme as condições ambientais e práticas adotadas, impactando a estrutura e a atividade microbiológica do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do terraceamento sobre atributos microbiológicos do solo de áreas sob SPD consolidado no Sudoeste do PR.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em maio de 2019 na área experimental da UTFPR-DV, município de Dois Vizinhos, na Mesorregião Geográfica do Sudoeste Paranaense, em uma bacia hidrográfica de segunda ordem. Geograficamente, a área está situada a 25°41’55” sul e 53°06' 01” oeste e em altitude média de 560 m acima do nível do mar. As mega parcelas experimentais possuem declividade média de 8%. A área tem terraços de base larga há mais de 20 anos e vinha sendo cultivada sob sistema plantio direto (SPD).

A área está dividida em duas megaparcelas de 1,8 ha cada, uma com e outra sem terraceamento. Nas megaparcelas os manejos feitos nas plantações são os mesmos praticados em cada região a fim de demonstrar a eficácia dos terraços para ajudar na contenção das chuvas e evitar a erosão em diferentes cultivos.

Foi realizada a amostragem de solo em outubro de 2024, com pá de corte na camada de 0-10 cm em 32 pontos em cada parcela. Após a coleta, o solo foi homogeneizado e peneirado em malha de 4,0 e 2,0 mm e armazenado a 4°C até a realização das avaliações microbiológicas. Parte do solo foi seco em estufa com circulação forçada a 105°C para determinação da umidade.

O carbono da biomassa microbiana, foi obtido conforme metodologia de Vance *et al*. (1987), enquanto o nitrogênio da biomassa microbiana, segundo metodologia descrita por Embrapa (2011) a partir da fumigação das amostras do solo com clorofórmio e extração com K2SO4. Já a emissão de CO2 a partir da atividade respiratória dos organismos do solo foi obtida pelo método descrito por Jenkinson e Powlson (1976).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), onde foi realizada a comparação de médias a 5% de significância pelo teste de Tukey para as análises de Respiração Basal e C e N microbiano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que o terraceamento tem um impacto positivo nos tributos microbiológicos do solo. As áreas com terraceamento apresentaram maior respiração basal (Tabela 1), o que indica que a atividade microbiana no solo é mais ativa nesses locais em comparação às áreas sem terraceamento. A respiração basal do solo (RBS) representa a soma total da atividade metabólica do solo e os microrganismos são os principais responsáveis por esse processo de liberação de C02 (SEABRA, 2006). Além disso, pode representar a velocidade de decomposição da matéria orgânica, onde maiores valores de respiração basal podem ser um indicativo de um solo com elevada produtividade, mas que a longo prazo pode gerar um distúrbio, comprometendo os atributos químicos e físicos do solo (ISLAM; WEIL, 2000). A respiração basal reflete a atividade metabólica dos microrganismos, sugerindo maior decomposição da matéria orgânica e melhor ciclo de nutrientes.

Além disso, o teor de carbono e nitrogênio microbiano no solo foram superiores nas áreas com terraceamento (Tabela 1). Esse aumento no acumulo de C e N microbiano no solo é benéfico para o sistema, pois indica que a biomassa microbiana é maior. Isso somente é possivel se o solo da área com terraceamento apresenta melhores condições para a atividade microbiana e o consequente acumulo de nutrientes. Isso pode estar relacionado à redução do escoamento superficial e à criação de um ambiente mais favorável para a fixação de carbono e a atividade microbiana. Esses resultados são cruciais para a sustentabilidade da agricultura, pois indicam que o terraceamento contribui para a preservação da biologia e fertilidade do solo. O terraceamento tem implicações significativas na ciclagem de nutrientes, especialmente no carbono e nitrogênio. A retenção de carbono no solo aumenta com o terraceamento, devido à redução da erosão e à melhoria da estrutura do solo, o que favorece a preservação da matéria orgânica (Wallenstein *et al*., 2009). Estudos demonstram que a diversidade de microrganismos do solo, como bactérias e actinobactérias, pode

ser maior em áreas com terraceamento, devido a uma maior disponibilidade de nutrientes e melhores condições para o desenvolvimento das populações microbianas (Bastida *et al*., 2006).

Nas áreas sem terraceamento, a degradação microbiológica foi evidente, com menor atividade microbiana e acumulo de nutrientes na sua biomassa. Isso destaca a importância de práticas como o terraceamento para a manutenção da saúde do solo, prevenindo a erosão e promovendo a conservação de nutrientes.

O terraceamento mostrou-se eficaz na melhoria das características microbiológicas do solo, promovendo a sustentabilidade e a produtividade agrícola. Recomenda-se a adoção dessa prática como parte de um manejo sustentável para conservar os recursos naturais e melhorar a qualidade do solo a longo prazo.

Tabela 1. Atributos microbiológicos do solo em áreas de SPD consolidado com e sem terraceamento.

Tratamento	Respiração Basal	C microbiano	N microbiano
	mg C de CO_2 kg^{-1} solo h^{-1}	---------- mg kg^{-1} ----------	
Com terraço	0,40 a	237,9 a	14,8 a
Sem terraço	0,33 b	202,5 b	10,3 b
CV (%)	23,04	29,9	35,6

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (p≤0,05) para o teste de Tukey.

CONCLUSÕES

O terraceamento tem efeito positivo na respiração basal e no teor de C e N microbiano de solo sob sistema plantio direto consolidado. Esses resultados destacam o terraceamento como uma prática eficaz para a conservação do solo, mitigação da erosão e promoção da sustentabilidade agrícola, sendo uma estratégia importante para a preservação dos recursos naturais e o aumento da produtividade a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

A fundação araucária e FAEP-SENAR pelo financiamento do projeto. Também agradeço a UTFPR campus Dois Vizinhos por ceder o espaço e apoiar o projeto.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, J.P.E., & DOMSCH, K.H. (1993). **The metabolic quotient for CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental conditions, including pH, on microbial activity in soils**. Soil Biology and Biochemistry, 25(4), 393-400.

PIMENTEL, D., HEPPERLY, P., & HANSON, J. (1995). **Sustainable agriculture: An ecological approach.** Scientific American, 272(1), 24-31.

BASTIDA, F., ZSOLNAY, A., HERNÁNDEZ, T., & GARCÍA, C. (2006). **Past, present and future of soil quality indices.** Soil Biology and Biochemistry, 38(1), 5-21.

LEHMANN, J., RILLIG, M.C., THIES, J., MASIELLO, C.A., & HOCKADAY, W.C. (2011)**. Biochar effects on soil biota: A review.** Soil Biology and Biochemistry, 43(9), 1812-1836.

LEHMANN, J.; ET AL. (2011). **Soil and water conservation in agriculture.Geoderma,** 160(1-2), 49–59.

OLDENMAN, L. R. (1994). **Soil degradation and its impact on world agriculture.** Agricultural Systems, 48(4), 157–174.

PIMENTEL, D. *et al*. (1995). **Soil erosion and agricultural productivity.** Agricultural Ecosystems and Environment, 53(1), 111–118.

SCHIMEL, J. P.; BENNETT, J. (2004). **Nitrogen mineralization: Challenges and perspectives.** Soil Biology and Biochemistry, 36(11), 1713–1721.

SILVA, P. L. *et al*. (2018). Terraceamento e impactos na microbiota do solo. **Revista de Ciências Agrárias,** 46(2), 223–232.

WALLENSTEIN, M. D. *et al*. (2009). **Soil carbon cycling in a temperate forest: Implications for soil organic matter management.** Ecology, 90(5), 1431–1445.

MOREIRA, M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NOVAK, E. *et al*. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias,** Dourados, v. 41, n. 03, p. 603-611, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.19084/RCA17300. Acesso em: 08 março. 2024.

SEABRA, J. E. (2006). *A respiração do solo como indicador de atividade microbiana e qualidade do solo. In:* **Anais do II Congresso Brasileiro de Solos.** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 245-249.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. (2000). *Microbial biomass and activity in soils of differing texture under long-term tillage and crop rotation systems.* ***Soil Science Society of America Journal*****,** 64(2), 619-628. DOI: 10.2136/sssaj2000.642619x

Wallenstein, M. D., McMahon, S. K., & Schimel, J. P. (2009)**.** *The influence of agricultural management on the microbial community of a temperate soil: changes in microbial biomass and functional diversity.* ***Soil Biology and Biochemistry*****,** 41(5), 1446-1456. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.02.019

BASTIDA, F., ZSOLNAY, A., HERNÁNDEZ, T., & GARCÍA, C. (2006). *Microbial community structure and functional diversity in a soil from a long-term experiment with organic amendments.* ***Soil Biology and Biochemistry*****,** 38(3), 263-274. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.06.022

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

IMPACTO DOS TERRAÇOS NA DINÂMICA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA EM SOLO ARENOSO

Maria Eduarda Braga Zirondi[1]*, Geovane Figueiredo Ferreira[2], Amanda Eustachio Pereira[3] Francielli Gasparotto [4], Edneia Aparecida de Souza Paccola[5]

[1]Graduanda do curso de Agronomia, Universidade Cesumar – Maringá, PR, Brasil. maria.zirondi2015@gmail.com; [2]Engenheiro agrônomo, Universidade Cesumar – Maringá, PR, Brasil. 247183geovane@gmail.com; [3]Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, PR, Brasil. Bolsista CAPES. amanda.eustachio@uel.com*; [3,4] Docentes Drª. no Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Unicesumar, PR, Brasi; Pesquisadoras do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; Docentes do Curso de Agronomia Unicesumar. francielli.gasparotto@unicesumar.edu.br, edneia.paccola@unicesumar.edu.br

RESUMO

Este estudo avaliou os impactos dos terraços na dinâmica do carbono da biomassa microbiana em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura arenosa, localizado em Cianorte/PR. O problema abordado foi a erosão formada pelo escoamento da água nessa região com o solo arenoso e sua influência na microbiota do solo. O experimento foi conduzido em duas megaparcelas de 2 ha, uma com terraços e outra sem, com coletas de solo em 36 pontos georreferenciados por parcela, na camada de 0 a 10 cm. A determinação do carbono da biomassa microbiana foi realizada pelo método de fumigação-extração. Os resultados indicaram maior concentração de carbono na área com terraços (128,00 µg C/g de solo) em comparação à área sem terraços (89,77 µg C/g de solo), sugerindo que o terraceamento melhora a retenção de umidade e favorece a microbiota do solo. Conclui-se que os terraços são eficientes na conservação do solo e na manutenção do ambiente agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: carbono da biomassa microbiana; manejo conservacionista; terraços; microbiota do solo.

INTRODUÇÃO

A biomassa microbiana do solo (BMS) é composta pelos microrganismos vivos presentes no solo e desempenha um papel essencial na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na manutenção da fertilidade do solo (BROOKES, 2001). A BMS pode ser avaliada por meio da quantificação de elementos como carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S), sendo o carbono um dos indicadores mais utilizados para monitorar a dinâmica microbiana e sua resposta às práticas de manejo agrícola (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987).

A senescência dos microrganismos do solo libera carbono e nitrogênio, tornando esses elementos fundamentais para a ciclagem de nutrientes e o equilíbrio do ecossistema edáfico (HOFFMANN, 2018). Além disso, a quantidade de carbono da biomassa microbiana responde rapidamente a alterações nas práticas de manejo do solo, permitindo sua utilização como um indicador precoce da qualidade do solo e das mudanças na matéria orgânica (BALOTA *et al*., 1998). Fatores como clima, disponibilidade de nutrientes, aeração e teor de matéria orgânica influenciam diretamente a biomassa microbiana e sua atividade (HOFFMANN, 2018).

As práticas conservacionistas, como o plantio direto, a rotação de culturas e a construção de terraços, são estratégias fundamentais para reduzir a degradação do solo e melhorar sua qualidade biológica (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). A adoção dessas práticas pode aumentar o teor de matéria orgânica do solo, proporcionando um ambiente mais favorável para a microbiota do solo e contribuindo para a estabilidade da biomassa microbiana (TROMBETTA *et al*., 2020). A presença de terraços, por exemplo, reduz a erosão e favorece a infiltração de água, promovendo um melhor equilíbrio da umidade do solo e, consequentemente, influenciando a atividade dos microrganismos (ARAUJO; MELO, 2010). Dessa forma, a relação entre práticas conservacionistas e biomassa microbiana do solo torna-se um indicador relevante para avaliar a sustentabilidade do manejo agrícola.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o carbono da biomassa microbiana do solo em uma área experimental localizada em Cianorte/PR, composta por duas megaparcelas de 2 hectares, uma com terraços e outra sem essa estrutura de conservação do solo. A análise buscou compreender a influência dos terraços na dinâmica do carbono da biomassa microbiana e na atividade microbiana do solo, contribuindo para o entendimento da sustentabilidade das práticas de manejo adotadas nesta região.

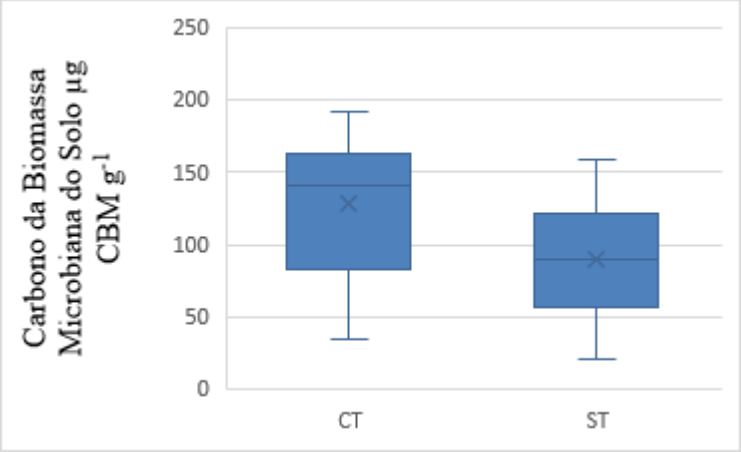
MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Projeto de Monitoramento Edáfico e Hidrossedimentológico da UNICESUMAR, com foco no manejo e conservação do solo para minimizar a erosão e impactos ambientais (BARBOSA; PELLEGRINI, 2023). A pesquisa ocorreu em Cianorte/PR, em um latossolo vermelho distrófico, dividido em duas megaparcelas de 2 ha, uma com e outra sem terraços, visando controlar a infiltração e o escoamento superficial.

Foram coletadas 36 amostras de solo por megaparcela, na camada de 0 a 10 cm, totalizando 144 amostras. A determinação do carbono da biomassa microbiana seguiu o método de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), com amostras fumigadas expostas ao clorofórmio por 18 horas e não fumigadas tratadas com água deionizada. A extração foi feita com solução de K_2SO_4 0,5 M, seguida de titulação com sulfato ferroso amoniacal. Os dados foram analisados no software Sisvar pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do Carbono da Biomassa Microbiana na mega parcela com terraço (CT), em comparação com a mega parcela sem terraço (ST), nota-se diferença significativa (Figura 1). Isso se deve ao fato de que as médias de Carbono da Biomassa Microbiana do solo (C-BMS) foram de 89,77 µg C/g de solo para a mega parcela ST e 128,00 µg C/g de solo na mega parcela CT.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 1 - Determinação do Carbono da biomassa microbiana mega parcela com terraço (CT) e sem terraço (ST).

Esse aumento do C-BMS na parcela com terraço sugere que a prática de terraceamento promove um ambiente mais favorável à atividade microbiana. Como os terraços foram desenvolvidos para reduzir o escoamento superficial e melhorar a retenção de umidade, esses fatores aumentam a disponibilidade de nutrientes e criam condições mais favoráveis para a microbiota do solo (HE *et al*., 2017).

O tipo de solo latossolo do estudo com textura média arenosa, apresentando aproximadamente 82% de areia e 13% de argila, indica uma estrutura que tende a ter baixa capacidade de retenção de água, o que é um desafio em condições de baixa pluviosidade. No entanto, a presença dos terraços minimizou essa característica, reduzindo a perda de água e promovendo a infiltração, o que favorece a atividade agrícola (GRIEBELER; CARVALHO; MATOS, 2000).

Isso ocorre porque a biomassa microbiana desempenha um papel importante na sequestração de carbono no solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Logo, ao conhecer os resultados positivos quanto aos níveis de C-BMS em áreas com terraço, é possível ajustar as práticas de aplicação de adubos orgânicos e a rotação de culturas (FERREIRA *et al*., 2021).

Portanto, a determinação do Carbono da Biomassa Microbiana (C-BMS) em áreas com terraço se revelam como uma ferramenta de suma importância na qualidade do solo. Isso ocorre, porque a biomassa microbiana, à qual é composta por bactérias, fungos e outros microrganismos, desempenha um papel fundamental na ciclagem de nutrientes, na agregação do solo e na decomposição da matéria orgânica. Dessa maneira, ao quantificar o C-BMS em áreas com terraço e sem terraço, obteve-se informações valiosas sobre a dinâmica do carbono no solo, que estão diretamente relacionadas a fertilidade e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pois ao compreender a dinâmica do C-BMS, é possível otimizar a produção agrícola, conservar os recursos naturais e mitigar os efeitos das mudanças climáticas (RAMOS *et al.,* 2020).

CONCLUSÕES

Por meio dos bioindicadores e seus resultados, foi possível observar que o Carbono da Biomassa Microbiana do solo foi de 89,77 µg C/g de solo para a megaparcela ST e 128,00 µg C/g de solo na megaparcela CT, tendo diferença significativa. O experimento demonstrou que a prática conservacionista com terraço manteve uma maior quantidade de carbono da massa microbiana do solo, influenciado pelos teores de matéria orgânica e umidade, isso significa que mesmo o solo tendo propriedade de textura media arenosa, a megaparcela com terraço demonstrou-se que teve um menor escoamento superficial e maior retenção de umidade, nutrientes e MO, criando condições mais favoráveis para a atividade e diversidade microbiana, comparado ao sem terraço.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária/SENAR-PR/SETI-PR pelo apoio financeiro ao projeto. Ao ICETI pelo apoio financeiro por meio da bolsa de produtividade, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. À CAPES pela concessão da bolsa à primeira autora deste estudo, que possibilitou a realização desta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, A. S. F. D.; MELO, W. J. D. Soil microbial biomass in organic farming system. Ciência Rural, v. 40, p. 2419-2426, 2010.

BALOTA, E.L, COLOZZI-FILHO, A., ANDRADE, D.S, & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos diferentes sistemas de preparo e variedades de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BARBOSA, G. M. C.; PELLEGRINI, A. (Org.). Manejo e conservação de solo e água: Formação, implantação e metodologias – uma obra de referência para a agropecuária do Paraná. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2023.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

BROOKES, P. C. The soil microbial biomass: concept, measurement and applications in soil ecosystem research. Soil Research, v. 39, n. 1, p. 235-252, 2001.

FERREIRA, M. A.; REIS, R. P.; SANTOS, G. K. M.; LATORRACA, J. V. D. F.; BEZERRA, D. C.; COIMBRA, V. C. S.; SCHLINDWEIN, J. A. Biomassa microbiana e carbono orgânico do solo sob diferentes manejos e sucessão de culturas. **Extensão rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar-VOLUME 2**, 2(1), 126-138, 2021. https://doi.org/10.37885/210303685

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D. F. DE; MATOS, A. T. DE. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando-se o sistema de informações geográficas. estudo de caso: Bacia do Rio Caxangá, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 299–303, 2000.

HE, S. *et al*. Guidelines for integrating ecological and biological engineering technologies for control of severe erosion in mountainous areas–A case study of the Xiaojiang River Basin, China**. International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 4, p. 335- 344, 2017.

HOFFMANN, R. B. Biomassa microbiana do solo: conceitos e aplicações em estudos agroecológicos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, p. 1-16, 2018.

PELLEGRINI, A.; BARBOSA, G.M.C**. Manejo e conservação de solo e água**. Volume 1- Formação, implantação e metodologias. 2023.

RAMOS, M. R.; Uhlmann, A.; Justen, L.; Freire, T. M.; Panta, D. A. S. Uso Do Solo eaA Estacionalidade Climática Afetam os Atributos Biológicos Do Solo? **Revista Agroecossistemas**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 178, 31 jul. 2020. Universidade Federal do Para. http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v12i1.7474.

TROMBETTA, L. J. *et al*. Resíduos orgânicos e suas implicações com o carbono orgânico e microbiota do solo e seus potenciais poderes poluentes. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 6, n. 7, p. 43996-44005, 2020.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

IMPACTO DOS TERRAÇOS NA RESPIRAÇÃO BASAL E QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO

Amanda Eustachio Pereira[1]*, Geovane Figueiredo Ferreira[2], Graziela Moraes de Cesare Barbosa[3]; Francielli Gasparotto [4], Edneia Aparecida de Souza Paccola[5]

[1]Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, PR, Brasil. Bolsista CAPES. amanda.eustachio@uel.com*; [2]Engenheiro agrônomo, Universidade Cesumar – Maringá, PR, Brasil. 247183geovane@gmail.com [3]Pesquisadora Drª no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. Docente no Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina. graziela_barbosa@idr.pr.gov.br; [4,5] Docentes Drª. no Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Unicesumar, PR, Brasil; Pesquisadoras do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; Docentes do Curso de Agronomia Unicesumar. francielli.gasparotto@unicesumar.edu.br, edneia.paccola@unicesumar.edu.br

RESUMO

Este estudo investigou a influência dos terraços na respiração basal do solo (RBS) e no quociente metabólico (qCO_2) dos microrganismos em um Latossolo Vermelho Distrófico de Cianorte/PR. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho Distrófico comparando duas megaparcelas de 2 ha: uma com terraços e outra sem. Foram coletadas amostras de solo em 36 pontos georreferenciados por megaparcela, analisadas no Laboratório de Análises Agronômicas (AGROLAB). A RBS foi determinada após a incubação de 10 dias, e o qCO_2 foi calculado como a razão entre CO_2 liberado e biomassa microbiana. Os resultados mostraram que a RBS não diferiu significativamente entre os tratamentos, assim como o qCO_2. A ausência de diferenças pode ser atribuída à baixa retenção de umidade do solo arenoso e à exposição prolongada após a colheita, indicando que fatores ambientais afetam diretamente a atividade microbiana.

PALAVRAS-CHAVE: respiração basal do solo; quociente metabólico; microbiota do solo; terraços agrícolas; manejo conservacionista.

INTRODUÇÃO

A microbiota do solo desempenha um papel essencial na manutenção da fertilidade e produtividade agrícola. Microrganismos participam da decomposição da matéria orgânica e da mineralização dos nutrientes, promovendo a fertilidade do solo e melhorando sua estrutura e capacidade de retenção de água (CARDOSO *et al*., 2013). Nesse contexto, o uso de Microrganismos Eficientes (EM) surge como uma técnica sustentável para otimizar a ciclagem de nutrientes e estimular a atividade biológica do solo, contribuindo diretamente para a macrofauna e a produtividade agrícola, ainda que fatores como variações climáticas e práticas de manejo possam influenciar sua eficiência (BALOTA, 2017).

As práticas de conservação do solo impactam diretamente a composição e atividade da microbiota, sendo que técnicas como o plantio direto e a construção de terraços reduzem a erosão e favorecem a infiltração da água no solo (TROMBETTA *et al*., 2020; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). O manejo inadequado, por outro lado, pode resultar na contaminação do solo e da água, na redução da biodiversidade e no esgotamento de recursos não renováveis, enfatizando a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis (LEONEL JÚNIOR, 2020).

A hipótese deste estudo é que a presença de terraços no solo agrícola promove um aumento na infiltração de água e preservação da matéria orgânica, o que resulta em maior atividade microbiana e eficiência no uso do carbono, refletidos na respiração basal do solo e no quociente metabólico.

A estrutura física do solo está diretamente ligada aos processos biológicos e químicos que impactam o desenvolvimento das culturas (CORDEIRO *et al*., 2023). Assim, compreender o comportamento do solo e os impactos do manejo é essencial para a adoção de estratégias que garantam a sustentabilidade da produção agrícola. Este estudo tem como objetivo comparar a atividade microbiana do solo em áreas com e sem terraços, avaliando a influência dessa prática na respiração basal do solo e no quociente metabólico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento faz parte do Projeto Monitoramento Edáfico e Hidrossedimentológico conduzido pela Universidade Cesumar – UNICESUMAR, e vinculado ao Programa da Rede Paranaense de Apoio a Agropesquisa e Formação Aplicada (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação-NAPI Prosolo). O estudo visa desenvolver ferramentas para manejo e conservação do solo, minimizando a erosão hídrica e impactos ambientais, promovendo a produtividade agrícola (BARBOSA; PELLEGRINI, 2023).

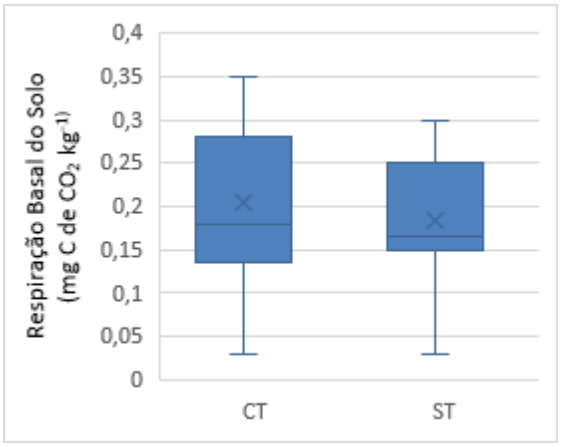
A pesquisa ocorreu em Cianorte/PR, em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média e declividade de 6%, originado do arenito Caiuá (VIANA *et al*., 2011). A área experimental foi dividida em duas megaparcelas de 2 ha: uma sem terraços e outra com terraços de 0,5 a 0,7 metros de altura, espaçados horizontalmente entre 25 e 35 metros, visando controlar a infiltração e reduzir o escoamento superficial da água.

Foram coletadas amostras de solo em 36 pontos georreferenciados por megaparcela (com e sem terraço), na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Após a coleta, as amostras foram analisadas no Laboratório de Análises Agronômicas (AGROLAB), onde a respiração basal microbiana foi avaliada imediatamente, seguindo o método de incubação com NaOH 1M e posterior titulação com HCl 0,5M.

A respiração microbiana foi determinada pela liberação de CO2 das amostras após 10 dias de incubação, onde permite converter dados de respiração em C de biomassa, por aplicação de um fator de conversão aos resultados obtidos na respiração. O coeficiente metabólico (qCO2) foi calculado como a razão entre o CO_2 liberado por hora e a biomassa microbiana do solo (ANDERSON E DOMSCH, 1978). Os dados foram analisados pelo software Sisvar, utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Respiração Basal do Solo não apresentou uma diferença significativa segundo o teste de Tukey a 5% (P=0,0002). No tratamento CT, a média de RBS foi de 0,20 mg C de CO_2 g^{-1} de solo h^{-1}, enquanto no tratamento ST a média foi de 0,18 mg (Figura 1).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

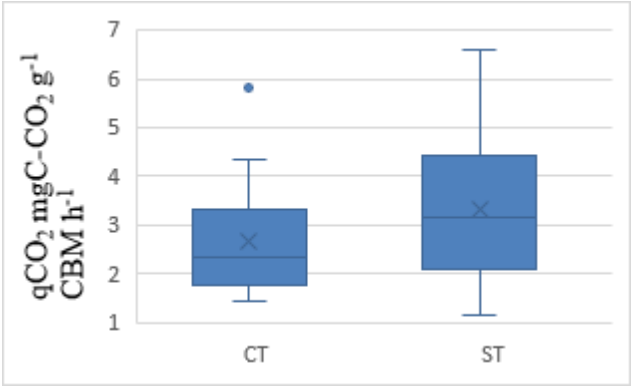
Figura 1- Determinação da respiração basal do solo (RBS) em mg C de CO_2 kg^{-1} solo h-1 presentes nas amostras do solo nas megaparcelas com terraço (CT) e sem terraço (ST).

Essa ausência de diferença pode ser atribuída a diversos fatores, como variações no conteúdo de matéria orgânica, aeração e umidade do solo (LIMA *et al*., 2020). O teor de matéria orgânica no CT (13,90 g dm^{-3}), embora, seja semelhante em comparação ao ST (12,12 g/ dm^{-3}), não foi suficiente para provocar uma

alteração significativa na respiração basal, indicando uma estabilidade na comunidade microbiana em relação à quantidade de carbono disponível.

A redução da precipitação e a exposição do solo por um mês após a colheita da soja aceleraram a perda de umidade, afetando a atividade microbiana e a respiração basal do solo (RBS). A falta de cobertura vegetal e a baixa umidade podem ter reduzido as diferenças entre os tratamentos, evidenciando que a umidade e a temperatura são fatores essenciais para a atividade microbiana em solos arenosos (FIALHO, 2006).

O quociente metabólico (qCO_2) também não apresentou diferença significativa entre os tratamentos CT e ST (P=0,1). As médias do tratamento CT em comparação com o tratamento ao tratamento ST, foi de 2,69 mg C-CO_2 g^{-1} CBM h^{-1} para CT e de 3,34 mg C-CO_2 g^{-1} CBM h^{-1} para ST.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 2- Determinação do quociente metabólico (qCO2) em qCO_2 mgC-CO_2 g^{-1} CBM h^{-1} presentes nas amostras do solo nas megaparcelas com (CT) e sem terraço (ST).

O estresse observado no quociente metabólico em ambas as parcelas pode ser atribuído à ausência de cobertura vegetal na superfície do solo, resultando em baixa atividade microbiana associada à decomposição da biomassa vegetal. A falta de cobertura vegetal influencia negativamente a atividade e a biomassa microbiana do solo, afetando processos essenciais como a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (Dadalto *et al*., 2015).

O tipo de solo (latossolo arenoso) com aproximadamente 82% de areia e 13% de argila, provavelmente influenciou a atividade microbiana. Solos com alta proporção de areia tendem a ter menor capacidade de retenção de água e nutrientes, o que pode criar um ambiente menos estável para os microrganismos, forçando-os a utilizar o carbono de maneira menos eficiente (Bittar *et al*., 2013).

CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que a presença de terraços não influenciou significativamente a respiração basal do solo e o quociente metabólico, sugerindo que fatores ambientais, como umidade e temperatura, tiveram maior impacto na atividade microbiana. A baixa retenção de água do solo arenoso pode ter mascarado os efeitos esperados dos terraços. Estudos adicionais são necessários para avaliar melhor a relação entre manejo conservacionista e microbiota do solo em diferentes condições climáticas.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária/SENAR-PR/SETI-PR pelo apoio financeiro ao projeto. Ao ICETI pelo apoio financeiro por meio da bolsa de produtividade, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. À CAPES pela concessão da bolsa à primeira autora deste estudo, que possibilitou a realização desta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.

BALOTA E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Mecenas, 2017. 288 p.

BARBOSA, G. M. C.; PELLEGRINI, A. (Org.). *Manejo e conservação de solo e água: Formação, implantação e metodologias – uma obra de referência para a agropecuária do Paraná*. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2023.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

BITTAR, I. M. B.; FERREIRA, A. D. S.; CORRÊA, G. F. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma Cerrado sob condições de incubação. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 6, p. 1952-1960, 2013.

Cardoso, E. J. B. N., Vasconcellos, R. L. F., Bini, D., Miyauchi, M. Y. H., Santos, C. A. D., Alves, P. R. L., Nogueira, M. A. Indicadores de qualidade do solo em cultivos de plantas forrageiras: uma revisão. *Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, v. 9, n. 3, p. 75-85, dez. 2023.

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. *Engenharia Agrícola*, v. 35, p. 506-513, 2015.

Fialho, J. S., Gomes, V. F. F., de Oliveira, T. S., & da Silva Júnior, J. M. T. Indicadores de qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 37, p. 250-257, 2006.

LEONEL JÚNIOR, G. *Direito à Agroecologia: a variabilidade e os entraves de uma prática agrícola sustentável*. 2. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020.

LIMA, J. R. S. *et al*. Impacts of land-use changes on soil respiration in the semi-arid region of Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, 2020.
BALOTA, E. L. *Manejo e qualidade biológica do solo*. Londrina: Mecenas, 2017. 288 p.

TROMBETTA, L. J. *et al*. Resíduos orgânicos e suas implicações com o carbono orgânico e microbiota do solo e seus potenciais poderes poluentes. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, v. 6, n. 7, p. 43996-44005, 2020.

VIANA, E. T. *et al*. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 6, p. 2105–2114, 2011. DOI: 10.1590/s0100-06832011000600025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

RESPIRAÇÃO E BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM ÁREA CULTIVADA COM CANA-DE-AÇÚCAR

Alessandro Cesar Vicente Gois Junior[1], Rayane de Castro Marzola[2], Yris Ayumi Toyotani Camacho[3], Rafael Egea Sanches[4], Francielli Gasparotto[5]

[1]Acadêmico do Curso de Agronomia, Campus Maringá/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Bolsista ICETI-Fundação Araucária.*alessandrogoisjunior@outlook.com. [2]Acadêmica do Curso de Agronomia, Campus Maringá/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. [3]Mestranda em Tecnologias Limpas, Universidade Cesumar – Unicesumar, PR, Brasil. [4] Prof. Dr. do Curso de Agronomia, Universidade Cesumar – Unicesumar, PR, Brasil.[5]Prof. Dra. do Curso de Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Universidade Cesumar – Unicesumar, PR, Brasil. Pesquisadora e Bolsista Produtividade em Pesquisa do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI)

RESUMO

Objetivou-se avaliar a biomassa e a atividade microbiana do solo em área cultivada com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada sem queima. A pesquisa foi conduzida em Presidente Castelo Branco, a área experimental foi dividida em duas partes de 2ha: T1- área cultivada com cana na parte superior da topossequência; T2- área cultivada com cana na parte inferior da topossequência. Analisou-se o teor de carbono da biomassa microbiana (CBMS); respiração basal e quociente metabólico. O CBMS apresentou maiores valores no outono, sem diferença entre os tratamentos. Verificou-se maiores valores de RBS na parte superior da topossequência no outono. E valores significativamente mais elevados de qCO_2 foram observados na parte superior da topossequência tanto no outono como no verão. Assim, dentre os indicadores microbiológicos analisados o qCO_2 foi o mais sensível para detecção de alterações da biota solo em área de produção de cana.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum officinarum*; biota do solo; sustentabilidade agrícola.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é amplamente reconhecida como uma das culturas mais significativas globalmente, e o Brasil é o maior produtor mundial desta gramínea (CONAB, 2023). Entretanto, esta cultura é suscetível a uma série de fatores, incluindo clima, características das variedades cultivadas, sistemas de produção, manejo e conservação do solo, entre outros.

É importante destacar que o sistema radicular dessa planta tende a se desenvolver mais profundamente em comparação com outras culturas (OLIVEIRA FILHO *et al*., 2015). Portanto, é crucial que o manejo do solo seja realizado de maneira adequada para evitar problemas futuros, tanto em relação à safra quanto à qualidade do solo.

De acordo com Andrade *et al*. (2020), as diferentes práticas de manejo do solo podem ser facilmente identificadas através da análise da biomassa e atividade microbiana, uma vez que esses são dois indicadores sensíveis a mudanças no ambiente. Variações na biomassa microbiana do solo podem ser observadas ao se avaliar os níveis de carbono e nitrogênio, bem como a taxa de respiração basal do solo (RBS).

Portanto, pesquisas voltadas para a avaliação das mudanças na população microbiana do solo resultantes dos diferentes sistemas de produção de cana-de-açúcar desempenham um papel crucial para a sustentabilidade dessa cadeia produtiva. Assim, objetivou-se avaliar a biomassa e a atividade microbiana do solo em área cultivada com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada sem queima.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em uma área cultivada com cana-de-açúcar localizada no município de Presidente Castelo Branco - PR, cujas coordenadas geográficas são -23º18’50’’S de latitude e -52º11’51’’WO de longitude e o solo classificado como Argiloso Vermelho distrófico e relevo suave ondulado,

5% de declividade. O clima da região é classificado como Cfa, clima Subtropical, com verão quente, médias de temperatura superiores a 22° C no verão e chuvas bem distribuídas durante o ano (OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI; 2020).

A topossequência escolhida para o estudo vem sendo cultivada com cana-de-açúcar desde 1998, o cultivo atual foi implantado de forma mecanizada em 2019 com a variedade RB867515, e desde então a colheita passou a ser totalmente mecanizada sem queima. O canavial é manejado de forma convencional e a área apresenta terraços embutidos. A área cultivada com cana foi dividida em duas partes de 2ha cada, de acordo com a declividade do terreno e dois tratamentos foram estabelecidos: T1- área cultivada com cana sem queima na parte superior da topossequência; T2- área cultivada com cana sem queima na parte inferior da topossequência.

Para avaliação dos atributos microbiológicos as amostras de solo foram coletadas em duas diferentes estações do ano, no verão, em dezembro, dois meses após a colheita da cana mecanizada sem queima; e no outono, mês de abril. Em cada um dos tratamentos foram coletadas 20 amostras, totalizando 40 amostras, na camada de 0 a 10 cm. Após a coleta, os solos foram colocados em sacos plásticos para o transporte até o Laboratório de Análises Agronômicas – Agrolab/ Unicesumar, campus de Maringá. As amostras foram armazenadas refrigeradas (4°C). Os seguintes atributos biológicos das amostras de solo foram analisados: carbono da biomassa microbiana (C-BMS) (VANCE *et al*., 1987); respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) (SILVA *et al*., 2007).

Os resultados foram submetidos ao teste de homogeneidade e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto aos atributos microbiológicos (Tabela 1) os valores médios de carbono da biomassa microbiana (C-BMS) não apresentaram diferenças significativas dentro da área de cultivo de cana tanto no verão quanto no outono. Porém, verificou-se um aumento significativo dos teores de C-BMS no outono em relação a coleta realizada no verão.

Tabela 1. Valores médios de carbono da biomassa microbiana do solo (mg de C-BMS kg^{-1} solo) na profundidade de 0-10 cm em área de cultivo de cana-de-açúcar.

Tratamentos[1]	**C-BMS[2]**	
	Verão 2022	**Outono 2023**
T1	51,89aB	213,07aA
T2	55,63aB	266,28aA
CV%	30,61	

[1]Tratamentos: T1- área cultivada com cana sem queima na parte superior da topossequência; T2- área cultivada com cana sem queima na parte inferior da topossequência.
[2]Os valores seguidos de letras minúsculas diferentes, entre as linhas e os valores seguidos de letras maiúsculas diferentes, entre as colunas, indicam diferenças a partir do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Quanto a respiração basal do solo não se verificou diferenças significativas entre os as áreas de plantio de cana durante o verão (Tabela 2). No entanto, no outono verificou-se maior RBS na parte superior em relação a parte inferior da área de cultivo, havendo diferença significativa entre as áreas e entre as estações.

Para o quociente metabólico os tratamentos foram agrupados em dois grupos significativamente ($p<0,05$) tanto na primeira quanto na segunda coleta, com maiores valores observados na parte superior da área de plantio (Tabela 2). E quanto as épocas de coleta, no verão, observou-se maiores valores de qCO_2.

Silva *et al*. (2021) também destacam a sensibilidade do quociente microbiano ao observar e comparar ambientes nativos, florestais e de produção agrícola diferenciados.

Tabela 2. Valores médios de respiração basal do solo (mg de C-CO_2 kg^{-1} solo h^{-1}) na profundidade de 0-10 cm em área de cultivo de cana-de-açúcar.

Tratamentos[1]	RBS[2]	
	Verão 2022	Outono 2023
T1	0,26ab	0,65aB
T2	0,20aA	0,26bA
CV%	24,93	24,45

[1]Tratamentos: T1- área cultivada com cana sem queima na parte superior da topossequência; T2- área cultivada com cana sem queima na parte inferior da topossequência. [2]Os valores seguidos de letras minúsculas diferentes, entre as linhas e os valores seguidos de letras maiúsculas diferentes, entre as colunas, indicam diferenças a partir do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Tabela 3. Valores médios do quociente metabólico de amostras de solo (mgC-CO_2.g^{-1}BMS-C.h^{-1}) na profundidade de 0-10 cm em área de cultivo de cana-de-açúcar.

Tratamentos[1]	qCO_2[2]	
	Verão 2022	Outono 2023
T1	5,36aA	3,24aB
T2	3,54bA	1,35bB
CV%	38,75	41,7

[1]Tratamentos: T1- área cultivada com cana sem queima na parte superior da topossequência; T2- área cultivada com cana sem queima na parte inferior da topossequência. [2]Os valores seguidos de letras minúsculas diferentes, entre as linhas e os valores seguidos de letras maiúsculas diferentes, entre as colunas, indicam diferenças a partir do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Valores elevados de qCO_2 em áreas cultivadas com cana-de-açúcar podem ser atribuídos às práticas agrícolas adotadas nas áreas de cultivo, incluindo a queima para colheita, a fertilização anual via solo e a aplicação de herbicidas. Estas práticas, conforme indicado por estudos anteriores, têm potencial para impactar significativamente a biomassa microbiana do solo e sua atividade, destacando a sensibilidade do qCO_2 como indicador (Andrade *et al*., 2020).

Neste sentido, entre os parâmetros avaliados neste estudo, o qCO_2 também foi o mais sensível para detectar mudanças da biomassa microbiana entre a parte superior e inferior da área de cultivo, sendo este sempre superior na área da cabeceira, área esta com possível menor umidade no solo, devido a declividade da área e a maior insolação, propiciando um ambiente mais estressante para os microrganismos do solo.

Além disso, é crucial salientar a relevância do contexto sazonal, observando-se uma redução do qCO_2 entre os períodos amostrais, indicando uma relação direta com a elevação da temperatura do solo durante o verão.

CONCLUSÕES

O teor de carbono da biomassa microbiana durante o verão de 2022 e o outono de 2023 revelou padrões distintos, com maiores valores no período do outono, porém sem diferença entre a parte superior e inferior da área de cultivo.

Não se observou diferença na RBS durante o verão e verificou-se maiores valores na parte superior da área de cultivo durante o outono.

Maiores valores de qCO_2 foram observados na parte superior da área tanto no outono como no verão. Dentre os indicadores microbiológicos do solo analisados o qCO_2 foi o mais sensível para detecção de alterações dos microrganismos do solo em área de produção de cana.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária / Seti-Pr / Senar-Pr pela concessão de bolsa de estudo e suporte financeiro para a condução da pesquisa. E ao Instituto Cesumar de Ciência Tecnologia e Inovação –ICETI/UNICESUMAR, pela concessão de bolsas de estudo e de pesquisa, além do suporte financeiro para a condução da pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- **Acompanhamento da safra Brasileira de Cana-de-açúcar** – Safra 2022/2023 Primeiro levantamento, v.1, n.1, 2022, 58p.

ANDRADE, V. S. *et al*. Respiração e biomassa microbiana em área de cultivo de cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 1-5, 2020.

OLIVEIRA FILHO, F. *et al*. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açucar. **Revista brasileira de engenharia agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.186–193, 2015.

OLIVEIRA, J. G.; SANTOS, L. J. C.; CALEGARI, M. R. Relação solo-relevo em sistema pedológico argissolo-neossolo quartzarênico na região noroeste do estado do Paraná: caso de Amaporã. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 21, n. 3, p.661-675, 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA EM ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

Rayane de Castro Marzola[1], Alessandro Cesar Vicente Gois Junior[2], Yris Ayumi Toyotani Camacho[3], Edneia Aparecida de Souza Paccola[4], Francielli Gasparotto[4]

[1]Acadêmica do Curso de Agronomia, Campus Maringá/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. *rayanemarzola@gmail.com. [2]Acadêmico do Curso de Agronomia, Campus Maringá/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Bolsista ICETI-Fundação Araucária. [3]Mestranda em Tecnologias Limpas, Universidade Cesumar – Unicesumar, PR, Brasil. [4]Prof. Dra. do Curso de Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Universidade Cesumar – Unicesumar, PR, Brasil. Pesquisadora e Bolsista Produtividade em Pesquisa do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI).

RESUMO

O monitoramento de parâmetros microbiológicos do solo, principalmente em regiões de solos sensíveis, como os arenosos é de grande interesse para verificar mudanças no ambiente. Logo, objetivou-se avaliar a biomassa e a atividade microbiana em Argiloso Vermelho distrófico. O experimento foi realizado em Presidente Castelo Branco com 2 tratamentos, T1- área com cana-de-açúcar e T2- área de vegetação nativa. Vinte amostras de solo foram coletadas por tratamento, no verão e no outono, na camada de 0 a 10 cm. Os indicadores microbiológicos analisados foram: carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico. Os resultados revelaram padrões distintos no teor de C-BMS, com valores maiores na vegetação nativa no verão e valores próximos durante o outono. A RBS não apresentou diferenças significativas entre as áreas de estudo em ambas as estações. Durante o verão verificou-se maior valor de qCO_2 na área de cultivo de cana em relação a mata nativa.

PALAVRAS-CHAVE: cana-de-açúcar; vegetação nativa; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é amplamente reconhecida como uma das culturas mais significativas globalmente, e o Brasil é o maior produtor mundial desta gramínea (CONAB, 2023). Entretanto, esta cultura é suscetível a uma série de fatores, incluindo clima, características das variedades cultivadas, sistemas de produção, manejo e conservação do solo, entre outros.

É importante destacar que o sistema radicular dessa planta tende a se desenvolver mais profundamente em comparação com outras culturas (OLIVEIRA FILHO *et al*., 2015). Portanto, é crucial que o manejo do solo seja realizado de maneira adequada para evitar problemas futuros, tanto em relação à safra quanto à qualidade do solo.

De acordo com Andrade *et al*. (2020), as diferentes práticas de manejo do solo podem ser facilmente identificadas através da análise da biomassa e atividade microbiana, uma vez que esses são dois indicadores sensíveis a mudanças no ambiente. Variações na biomassa microbiana do solo podem ser observadas ao se avaliar os níveis de carbono e nitrogênio, bem como a taxa de respiração basal do solo (RBS).

Portanto, pesquisas voltadas para a avaliação das mudanças na população microbiana do solo resultantes dos diferentes sistemas de produção de cana-de-açúcar desempenham um papel crucial para a sustentabilidade dessa cadeia produtiva. Assim, objetivou-se avaliar a biomassa e a atividade microbiana do solo em área cultivada com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em uma área cultivada com cana-de-açúcar localizada no município de Presidente Castelo Branco – PR e na mata nativa anexa, cujas coordenadas geográficas são -23º18’50’’S de latitude e -52º11’51’’WO de longitude, e o solo classificado como Argiloso Vermelho distrófico. O clima da região é classificado como Cfa, clima Subtropical, com verão quente, médias de

temperatura superiores a 22° C no verão e chuvas bem distribuídas durante o ano (OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI; 2020).

A topossequência escolhida para o estudo vem sendo cultivada com cana-de-açúcar desde 1998, o cultivo atual foi implantado de forma mecanizada em 2019 com a variedade RB867515, e desde então a colheita passou a ser totalmente mecanizada sem queima. O canavial é manejado de forma convencional e a área apresenta terraços embutidos. A área de estudo foi dividida em dois tratamentos: T1- área cultivada com cana-de-açúcar e T2- área de vegetação nativa.

Para avaliação dos atributos microbiológicos as amostras de solo foram coletadas em duas diferentes estações do ano, no verão, em dezembro, dois meses após a colheita da cana mecanizada sem queima; e no outono, mês de abril. Em cada um dos tratamentos foram coletadas 20 amostras, totalizando 40 amostras, na camada de 0 a 10 cm. Após a coleta, os solos foram colocados em sacos plásticos para o transporte até o Laboratório de Análises Agronômicas – Agrolab/ Unicesumar, campus de Maringá.

As amostras foram armazenadas refrigeradas (4°C). Os seguintes atributos biológicos das amostras de solo foram analisados: carbono da biomassa microbiana (C-BMS) (VANCE *et al*., 1987); respiração basal (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) (SILVA *et al*., 2007). Os resultados foram submetidos ao teste de homogeneidade e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto os valores médios de C-BMS (Tabela 1) verificou-se que houve diferença significativa para o teor de C-BMS entre a área de vegetação nativa (T2) e a área de cana (T1), no verão, porém não se verificou diferença no outono.

Tabela 1. Valores médios de carbono da biomassa microbiana do solo (mg de C-BMS kg solo^{-1}) na profundidade de 0-10 cm.

Tratamentos[1]	C-BMS[2]	
	Verão 2022	**Outono 2023**
T1	64,91bB	270,13aA
T2	217,45aA	282,64aA
CV%	30,61	32,12

[1]Tratamentos: T1- área cultivada com cana e T2- área de vegetação nativa.
[2]Os valores seguidos de letras minúsculas diferentes, entre as linhas, e os valores seguidos de letras maiúsculas diferentes, entre as colunas, indicam diferenças a partir do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A vegetação nativa apresentou maior teor de C-BMS com cerca de 217,45mg de C-BMS kg solo^{-1}, alcançando mais que o dobro do que os teores detectados na área cultivada com cana-de-açúcar no verão de 2022. Este fato pode estar relacionado ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo e maior cobertura do solo pela vegetação arbórea, reduzindo a incidência de raios solares e mantendo a temperatura do solo adequada para o desenvolvimento dos organismos do solo durante o verão. Situação oposta ao observado na área cultivada com cana, pois no momento da coleta as plantas ainda estão em rebrota, havia pouco palha sobre o solo, levando ao aumento da temperatura do solo, o que pode ter reduzido a população microbiana neste período.

Já na segunda coleta, no outono de 2023, não se verificou diferença significativa entre as áreas, neste período o canavial já havia se desenvolvido, expondo menos o solo a radiação solar, propiciando o aumento do C-BMS de aproximadamente 64 para 270 mg de C-BMS kg solo^{-1}.

O valor do C-BMS obtido neste estudo na área de vegetação nativa é próximo ao encontrado por Santana *et al*. (2017), que obtiveram cerca de 257,9 mg de C-BMS kg solo^{-1} em seu estudo realizado em solos arenosos comparando a vegetação nativa com outras culturas. Já Almeida *et al*. (2016) verificaram em área de mata nativa teores inferiores ao deste estudo (148,84). Porém, os autores detectaram teores mais elevados de C-BMS nos tratamentos com cana-de-açúcar quando comparados aos encontrados neste estudo.

Tabela 2. Valores médios de respiração basal do solo (RBS) (mg de C-CO_2 kg^{-1} solo h^{-1}) e quociente metabólico de amostras de solo (qCO_2) (mgC-CO_2.g^{-1}C-BMS.h^{-1}) na profundidade de 0-10 cm.

Tratamentos[1]	RBS[2]		qCO_2[2]	
	Verão 2022	Outono 2023	Verão 2022	Outono 2023
T1	0,22aA	0,32aA	3,81aA	1,46aB
T2	0,19aA	0,28aA	0,85bA	1,33aA
CV%	24,93	24,45	38,75	41,72

[1]Tratamentos: T1- área cultivada com cana e T2- área de vegetação nativa.
[2]Os valores seguidos de letras minúsculas diferentes, entre as linhas, e os valores seguidos de letras maiúsculas diferentes, entre as colunas, indicam diferenças a partir do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para cada parâmetro avaliado.

A análise da RBS não revelou diferenças significativas entre a área com cana e a vegetação nativa nas estações avaliadas e também não ocorreu variação significativa entre as estações em cada área de estudo (Tabela 2). No entanto, verificou-se maior valor de qCO_2 na área de cultivo de cana em relação a mata nativa durante o verão (Tabela 2), local onde por vários anos empregou-se a queima para colheita, realiza-se a fertilização anual via solo e a aplicação de herbicidas, além do solo estar exposto a insolação direta e as temperaturas mais elevadas no verão, fatores que podem impactar na biomassa microbiana do solo e sua atividade.

Na coleta de outono não se verificou diferenças significativas entre as áreas avaliadas. Mas um fator interessante é a redução do qCO_2 entre os períodos amostrais, no verão onde a temperatura do solo fica mais elevada, os valores são maiores que no outono. Essa alteração climática pode ter implicações significativas para os microrganismos do solo da região estudada, notadamente compostos em sua maioria por mesófilos. A sensibilidade desses microrganismos as variações de temperatura é um fator crítico para entender as possíveis consequências dessas mudanças climáticas sazonais.

É crucial destacar como o estresse térmico pode manifestar e interferir nos microrganismos do solo, considerando sua adaptação específica a condições mesófilas. Variações extremas de temperatura podem desencadear desafios metabólicos para esses organismos, afetando negativamente processos vitais como a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes. Além disso, a diminuição do coeficiente térmico pode influenciar a composição microbiana do solo, com potenciais impactos na dinâmica dos ecossistemas locais (SILVA *et al*., 2021).

CONCLUSÕES

O teor de carbono da biomassa microbiana durante o verão de 2022 e o outono de 2023 revelou padrões distintos.

Teores de C-BMS foram significativamente maiores na área de mata nativa no verão, porém sem diferença significativa da área cultivada com cana no outono.

A taxa de RBS não apresentou diferenças significativas entre a área de cultivo de cana e a de mata tanto no inverno quanto no verão.

Durante o verão verificou-se maior valor de qCO_2 na área de cultivo de cana em relação a mata nativa.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária / Seti-Pr / Senar-Pr pela concessão de bolsa de estudo e suporte financeiro para a condução da pesquisa. E ao Instituto Cesumar de Ciência Tecnologia e Inovação –ICETI/UNICESUMAR, pela concessão de bolsas de estudo e de pesquisa, além do suporte financeiro para a condução da pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, S. L. *et al*. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1539-1547, 2016.

ANDRADE, V. S.; VIEIRA, E. S.; PINHEIRO, S. S. C.; PERIN, L.; MENEZES, V. M. M.; Respiração e biomassa microbiana em área de cultivo de cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia,** v. 15, n.2, 2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- **Acompanhamento da safra Brasileira de Cana-de- açúcar** – Safra 2022/2023 Primeiro levantamento, v.1, n.1, 2022, 58p.

OLIVEIRA FILHO, F. *et al*. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açucar. **Revista brasileira de engenharia agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.186–193, 2015.

OLIVEIRA, J. G.; SANTOS, L. J. C.; CALEGARI, M. R. Relação solo-relevo em sistema pedológico argissolo-neossolo quartzarênico na região noroeste do estado do paraná: caso de amaporã. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v.21, n.3, p.661-675, 2020.

SILVA, M. DE O. *et al*. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021.

SANTANA, A. S. *et al*. Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no sul do estado de Roraima. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 6, n.1, p.1-8, 2017.

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2).** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99).

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuringsoil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM ÁREA AGRÍCOLA DA REGIÃO NORTE DO PARANÁ SOB TERRACEAMENTO EM DIFERENTES PERÍODOS SAZONAIS

Andréa Scaramal da Silva Menoncin[1*], José Francirlei de Oliveira[2], João Antônio da Silva[3], Graziela Moraes de Cesare Barbosa[4], Arnaldo Colozzi Filho[4]

[1]Bolsista de pós-doutorado, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER. *andreascaramal@yahoo.com.br; [2]Analista, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER; [3]Bolsista técnico, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER; [4]Pesquisador, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER.

RESUMO

O terraceamento reduz o escoamento superficial e melhora a retenção de água, influenciando a microbiota do solo. Este estudo avaliou o efeito do terraceamento na biomassa microbiana do solo na região norte do Paraná, em diferentes estações. O experimento foi realizado em uma área agrícola na bacia do Ribeirão Vermelho, em Cambé-PR, com parcelas com terraço (CT) e sem terraço (ST). Amostras de solo foram coletadas em agosto de 2023 e fevereiro de 2024, em 30 pontos por parcela. O CBM foi analisado pelo método de fumigação-extração, a RM por titulação e o qCO_2 calculado a partir da relação RM/CBM. A análise estatística incluiu ANOVA fatorial e teste de Tukey (5%). Os resultados mostraram diferenças significativas entre CT/ST e sazonalidade. O CBM foi maior no inverno, com queda de 37% na ST no verão. O qCO_2 foi 87% maior na ST no inverno, indicando que o terraceamento favorece a estabilidade da microbiota.

PALAVRAS-CHAVE: microbiota do solo; sazonalidade; conservação do solo.

INTRODUÇÃO

O terraceamento é uma prática fundamental no manejo e conservação do solo, desempenhando um papel crucial na redução do escoamento superficial e na retenção de água. Segundo Merten *et al*. (2023), a construção de terraços contribui para a diminuição da velocidade do escoamento da água da chuva, favorecendo sua infiltração no solo e reduzindo perdas de nutrientes por lixiviação. Dessa forma, essa técnica não apenas melhora a disponibilidade hídrica para as plantas, mas também minimiza os impactos da erosão, promovendo maior estabilidade do solo e sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

A compreensão dos efeitos dessas práticas sobre a microbiota e sua funcionalidade é fundamental para qualificar estratégias conservacionistas, como o terraceamento, quando aplicadas a diferentes sistemas produtivos regionais. Esse conhecimento contribui para a validação e aceitação dessas práticas entre os agricultores, promovendo a preservação do solo, sua fertilidade e funcionalidade (Spliethoff *et al*., 2023; Colozzi *et al*., 2024).

Dessa forma, o estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do terraceamento na biomassa microbiana do solo em áreas agrícolas manejadas com e sem terraceamento, considerando o sistema de produção e as variações sazonais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está sendo realizado em uma encosta de 220 m na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, em Cambé-PR, no segundo planalto, com clima subtropical (Cfa) e precipitação média anual de 1.430 mm, conforme figura 1. O estudo, iniciado em maio de 2018, divide a área em duas megaparcelas de 2,7 ha, com e sem terraços (CT e ST), em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2013).

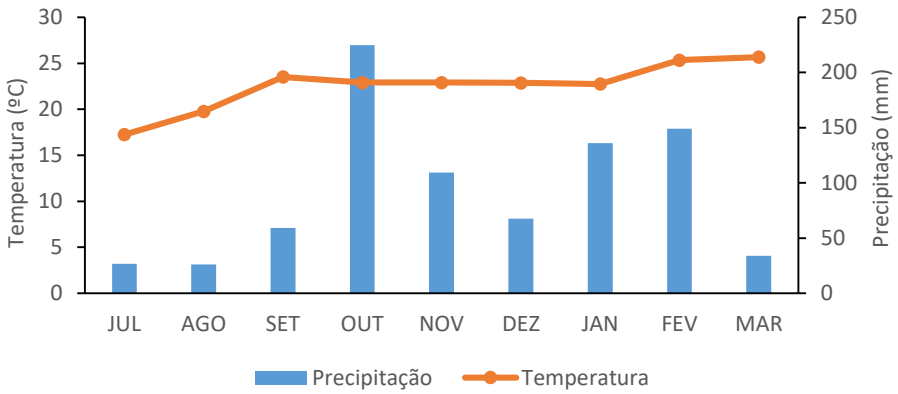


Figura 1. Médias mensais de precipitação (área experimental) e temperatura (Estação Experimental do IDR-PR) de julho de 2023 a março de 2024, em Cambé, onde o experimento foi realizado.

O manejo adotado é sob plantio direto a mais de 9 anos, com sucessão de soja (*Glycine max*) na safra principal e milho (*Zea mays*) na segunda safra. Considerando a sucessão de culturas da área, em que a colheita do milho da segunda safra é realizada nos meses de julho e agosto e da soja nos meses de fevereiro e março.

Amostras de solo (0-10 cm) foram coletadas em agosto de 2023, após a colheita do milho e fevereiro de 2024, após a colheita da soja, em 30 pontos por parcela. No Laboratório de Microbiologia do Solo do IDR-PR, as amostras foram peneiradas (4 mm) e a umidade determinada pelo método gravimétrico. O Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) foi estimado por fumigação-extração e quantificado por titulação com dicromato de potássio, conforme Vance *et al*., (1987). A respiração microbiana (RM) foi determinada por titulação e o quociente metabólico (qCO_2) calculado pela relação RM/CBM conforme Anderson e Domsch, 1993).

A análise estatística foi realizada no software R (versão 4.3.2), utilizando ANOVA fatorial para avaliar os efeitos do terraceamento, sazonalidade e suas interações. A normalidade dos erros foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade de variâncias também foi analisada. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferenças significativas ($p<0,05$) nos atributos microbiológicos do solo entre as áreas com e sem terraço (CT e ST) e as estações (inverno e verão), com interação significativa entre esses fatores. O CBM, a RM e o qCO_2 foram influenciados pelo terraceamento e pela sazonalidade, com variação conforme a época de amostragem. Resultados semelhantes foram encontrados por Spliethoff *et al*., (2023) e Colozzi *et al*., (2024), que também observaram efeitos do terraceamento em atributos microbiológicos.

O CBM foi mais elevado no inverno em ambas as parcelas, com valores semelhantes entre CT e ST (Tabela 1), possivelmente devido ao maior aporte de resíduos da cultura do milho, que fornece substrato para a microbiota. A soja, por ter menor produção de palhada e relação C/N mais baixa, reduz a disponibilidade de carbono no solo, impactando o CBM no verão (Balota *et al*., 2003). No verão, observou-se uma redução em ambos os sistemas, sendo mais acentuada no ST. O maior CBM na CT durante o verão indica que os terraços contribuíram para a retenção de umidade, uma vez que a precipitação foi maior nesse período (Figura 1), proporcionando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento microbiano, mesmo sob temperaturas elevadas. Vale ressaltar que cinco dias antes da amostragem ocorreu uma precipitação

total de 60 mm. Embora não tenha ocorrido escoamento, a quantidade de água no solo poderia ser semelhante entre os sistemas, mas a diferença no CBM pode ser atribuída a fatores como a melhor distribuição da água no solo no sistema com terraço, que favoreceu a infiltração e a retenção de umidade (Merten *et al*., 2023), criando condições mais homogêneas e propícias para a atividade microbiana. Estudos anteriores de Spliethoff *et al*., (2023) também demonstraram que o terraceamento auxilia na conservação da umidade do solo, favorecendo o aumento da biomassa microbiana.

Em contrapartida, o maior escoamento superficial observado no sistema sem terraço (ST), conforme relatado por Merten *et al*., (2023), provavelmente resultou em perdas de nutrientes e menor retenção hídrica, impactando negativamente o CBM. Conforme dados não publicados, na mesma área experimental, foram monitorados 11 eventos de chuva-vazão em 2023, totalizando 302 mm de chuva. Nesse período, a CT perdeu apenas 10% do volume de água perdido na ST, evidenciando a eficácia dos terraços na redução do escoamento superficial e na retenção de umidade. Esses resultados reforçam a importância do terraceamento na conservação da água no solo para da manutenção da atividade microbiana.

Tabela 1. Médias de Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Respiração Microbiana (RM) e Quociente metabólico (qCO2), na megaparcela com terraços (CT) e sem (ST) terraços da microbacia da região de Cambé-PR, no ano agrícola 2023/2024.

Sistema de uso do solo	CBM		RM		qCO_2	
	µg de CBM g^{-1} solo		µg C-CO_2 g^{-1} dia^{-1}		µg C-CO_2 g^{-1} C-CBM h^{-1}	
	Inverno	**Verão**	**Inverno**	**Verão**	**Inverno**	**Verão**
CT	481Aa	407Aa	0,49Ba	0,45 Aa	1,04Ba	0,95Ba
ST	504Aa	316Bb	0,92Aa	0,40Ab	1,95Aa	1,30Ab
Cv%	15,6%		35%		38%	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas entre os sistemas (CT e ST) e pela mesma letra minúscula nas linhas entre as estações (inverno e verão) não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (P ≤ 0,05).

A respiração microbiana (RM) foi maior no inverno na área ST (Tabela 1), embora os valores de CBM tenham sido semelhantes entre as áreas CT e ST. Esse aumento pode estar relacionado ao estresse ambiental, pois microrganismos em solos com menor retenção de água e maior estresse hídrico tendem a liberar mais CO_2 (Domeignoz-Horta *et al*., 2020), consumindo mais carbono para manutenção e liberando mais CO_2 na respiração. No verão, a RM diminuiu em ambos os sistemas, mas a CT manteve valores mais estáveis, sugerindo que os microrganismos na CT encontraram condições mais equilibradas, enquanto na ST o estresse hídrico e a menor disponibilidade de nutrientes afetaram a atividade microbiana.

O qCO_2 foi significativamente maior no ST durante o inverno em comparação ao CT, indicando que os microrganismos do ST estavam operando sob condições menos eficientes, com maior gasto de energético para manter suas atividades metabólicas. No verão, o qCO_2 diminuiu em ambos os sistemas, mas o ST continuou apresentando valores superiores aos da área CT, reforçando a ideia de maior estresse microbiano no solo sem terraços conforme também observado por Spliethoff *et al*., (2023).

Os resultados indicam que a CT mostrou maior estabilidade biológica ao longo das estações, com índices mais elevados de CBM e menores valores de qCO_2, sugerindo que o terraceamento favorece a retenção de umidade e a estabilidade microbiológica. Em contraste, o ST foi mais suscetível às variações sazonais, especialmente no verão, devido ao aumento do escoamento superficial e possível redução da umidade. Esses achados corroboram estudos de Pellegrini e Barbosa (2023), Merten *et al*., (2023), Spliethoff

et al., (2023) e Colozzi Filho *et al*., (2024), que destacam o terraceamento como uma prática eficaz na melhoria da qualidade do solo e mitigação do estresse hídrico e térmico.

CONCLUSÕES

O solo sem terraços apresenta maior qCO_2, indicando maior estresse microbiano e menor eficiência no uso do carbono, especialmente no verão.

A interação entre as variáveis climáticas e o manejo do solo afeta a atividade microbiana, evidenciando os efeitos do terraceamento ao promover maior estabilidade biológica.

AGRADECIMENTOS

Itaipu binacional; Ação integrada de solo e água (Aisa); Redeagropesquisa; Sistema FAEP/SENAR-PR; Fundação Araucária e Secretária de Ciência, Tecnologia e Ensino superior Seti).

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry,** Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A.; DICK, R. P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, p. 15-20, 2003.

Colozzi Filho, A., Bertagnoli, B. G. P., Menoncin, A. S. D. S., Oliveira, J. F. D., Campana, I. O., Machineski, G. S., & Barbosa, G. M. D. C. Terracing Reduces Arbuscular Mycorrhizal fungi Spore Loss through Surface Runoff. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 67, e24230801, 2024.

DOMEIGNOZ-HORTA, L. A.; POLD, G.; LIU, X.-J. A.; FREY, S. D.; MELILLO, J. M.; DEANGELIS, K. M. Microbial diversity drives carbon use efficiency in a model soil. **Nature Communications**, v. 11, p. 3684, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 333 p.

JENKINSON, D. S.; POWLKSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V: A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P.; BARBOSA, GRAZIELA M. C. Uso de terraços para o controle do escoamento superficial. *In:* PELLEGRINI, A.; BARBOSA, G. M. C. (Org.). **Manejo e conservação de solo e água: volume 1 - formação, implantação e metodologias.** 1. ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. v. 1, p. 49-85.

PELLEGRINI, A.; BARBOSA, GRAZIELA M. C.; POTT, C. A.; RODRIGUES, M. F. Rede agropesquisa em conservação do solo: dificuldades, avanços e expectativas. *In:* PELLEGRINI, A.; BARBOSA, G. M. C. (Org.). **Manejo e conservação de solo e água: volume 1 - formação, implantação e metodologias**. 1. ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. v. 1, p. 293-300.

SPLIETHOFF, J.; KNOB, A.; RAMPIM, L.; MÜLLER, M. M. L.; POTT, C. A. Soil microbial properties are improved by the adoption of soil management and conservation practices in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 47, e02230022, 2023.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. Na extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS SOB PLANTIO DIRETO

Maria Aparecida de Matos[1], Andréa Scaramal da Silva Menoncin[2], Ronaldo Hissayuki Hojo[3], Ivan Bordin[3], Arnaldo Colozzi Filho[3*]

[1]Analista, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER; [2] Bolsista de pós-doutorado, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER; [3] Pesquisador, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER. *acolozzi@idr.gov.pr.br

RESUMO

A rotação de culturas (RC) é uma estratégia essencial para melhorar a qualidade microbiológica do solo em sistemas de plantio direto. Este estudo avaliou os efeitos de diferentes sistemas de rotação sobre os atributos microbiológicos de um Latossolo Vermelho em Santa Tereza do Oeste-PR. O experimento, conduzido em blocos casualizados, incluiu seis tratamentos, variando da sucessão soja-milho a sistemas diversificados com cobertura vegetal no inverno. Os resultados indicam que a diversificação de culturas aumenta a biomassa microbiana (CBM), especialmente nos tratamentos **T4 (RC com produção de palhada pelos cereais de inverno,** sem colheita de grãos**)** e **T6 (RC diversificada com soja e crotalaria/trigo).** A rotação não altera o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) nem a respiração basal (RB), mas influencia o quociente metabólico (qCO_2). Assim, a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura são fundamentais para a sustentabilidade agrícola e a manutenção da saúde microbiológica do solo.

PALAVRAS-CHAVE: atividade microbiana; biomassa microbiana; cobertura vegetal; manejo do solo.

INTRODUÇÃO

No Paraná, os sistemas agrícolas variam por região: no Norte e Oeste, predomina a sucessão soja-milho safrinha, enquanto no Noroeste, o uso intensivo de pastagens é mais comum. Esses sistemas focam na produtividade de curto prazo, mas a baixa diversificação pode degradar o solo, aumentar a dependência de insumos e favorecer pragas e doenças, comprometendo a sustentabilidade. A rotação de culturas, ao alternar espécies ao longo dos anos, melhora a qualidade do solo, controla pragas e doenças e promove a biodiversidade (Sá *et al*., 2014). Além disso, a rotação de culturas pode trazer benefícios significativos para a microbiota do solo, sendo avaliada por meio de indicadores como a biomassa microbiana e a atividade microbiana, essenciais para compreender os impactos desses sistemas na saúde e funcionalidade do solo (Bassegio *et al*., 2025).

A hipótese deste estudo é que a implantação de diferentes sistemas de rotação de culturas, em comparação ao sistema de sucessão de culturas, promove alterações significativas nas propriedades microbiológicas do solo sob plantio direto. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes sistemas de rotação de culturas sobre os atributos microbiológicos do solo em áreas de plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em 2020 na área experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, no município de Santa Tereza do Oeste-PR, localizado na região oeste do estado. O experimento foi realizado em sistema de plantio direto, às coordenadas 25°05’44.61” S e 53°35’33.31” O, a uma altitude de 800 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 20 e 21 ºC e precipitação média anual de 1800 mm. O solo é classificado como

Latossolo Vermelho, com textura argilosa. O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos aplicados às parcelas, denominado sucessão (S) e rotação de culturas (RC), e quatro repetições, todos em sistema de plantio direto. T1) sucessão soja e milho; T2) sucessão soja e milho safrinha com plantas de cobertura (aveia preta+ nabo); T3) RC com soja e feijão/aveia preta+centeio; T4 – RC com produção de palhada pelos cereais de inverno, sem colheita de grãos : soja e aveia preta +centeio+ervilha; T5) RC com plantas de cobertura (PC) no inverno: soja e milheto+nabo+crotalaria/aveia; T6) RC diversificado com soja e crotalaria/trigo. As amostras de solo foram coletadas em março de 2023, durante a Safra de 2022/2023, na profundidade de 0 a 10 cm, e submetidas a análises químicas e microbiológicas. Para as análises microbiológicas, o carbono (CBM) e o nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana foram estimados pelo método de fumigação-extração (Vance, Brookes, & Jenkinson, 1987; Brookes *et al*., 1985) para o CBM e NBM, respectivamente. A atividade microbiana do solo foi avaliada por meio das análises de **respiração basal** e **quociente metabólico (qCO_2)** (Anderson & Domsch, 1978). Os dados foram submetidos à análise de variância teste F, $p<0,05$) e quando constatado efeito significativo, às médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados a análise do solo em Santa Tereza do Oeste, PR, que mostra um Latossolo Vermelho com acidez elevada com pH entre 4,53 e 5,41, e teores de alumínio (Al^{3+}), apresentando valores baixos para T5 a elevado para T4 a T2.

Tabela 1. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de rotação de culturas em plantio direto, em Santa Tereza do Oeste, Paraná, safra 2023/2024. Médias de 4 repetições.

Trat.	P	C	pH	Al^{3+}	$H^{+}+Al^{3+}$	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	S	CTC	V
	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	.....			$cmol_c$ dm^{-3} de solo				.....	(%)
T1	98,81	32,22	4,66	0,44	8,94	5,22	0,79	1,91	7,92	16,86	46,97
T2	87,78	30,74	4,58	0,51	9,07	5,06	0,56	2,11	7,73	16,80	46,01
T3	77,93	32,01	5,41	0,25	8,42	5,96	1,72	2,52	10,20	18,62	54,30
T4	94,95	31,89	4,60	0,52	9,78	5,27	0,50	2,13	7,89	17,68	44,68
T5	63,27	31,77	4,73	0,18	8,29	5,97	0,44	2,42	8,83	17,12	51,57
T6	97,12	31,95	4,53	0,43	9,51	5,17	0,50	1,95	7,62	17,13	44,48

Notas: Tratamentos: T1) sucessão soja e milho; T2) sucessão soja e milho safrinha com plantas de cobertura (aveia preta + nabo); T3) RC com soja e feijão/aveia preta+centeio; T4 – RC com produção de palhada pelos cereais de inverno, sem colheita de grãos: soja e aveia preta +centeio+ervilha; T5) RC com plantas de cobertura (PC) no inverno: soja e milheto+nabo+crotalaria/aveia; T6) RC diversificado com soja e crotalaria/trigo. P e K^{+} extrator Mehlich-1; Ca^{2+} e Mg^{2+} extraídos em KCl 1 mol L^{-1}; pH em $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}; H^{+} +Al^{3+} determinado em tampão SMP; C: Walkley-Black; S=soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; V=saturação por bases.

A soma de bases (S) variou de 7,62 cmolc dm^{-3} a 10,20 cmolc dm^{-3}, refletindo diferenças na disponibilidade de nutrientes entre os tratamentos. A capacidade de troca de cátions (CTC) variou de 16,80 a 18,62 cmolc dm^{-3}, sendo considerada moderada, e a saturação por bases (V%) ficou abaixo de 50% na maioria dos tratamentos, variando entre 44,48% (T6) e 54,3% (T3), o que sugere necessidade de correção com calcário para atingir 60-70% de saturação, faixa ideal para a maioria das culturas.

Quanto aos nutrientes, o fósforo (P) apresentou níveis adequados, exceto no T5. Já o potássio (K) esteve abaixo do ideal nos tratamentos T4, T5 e T6, exigindo reposição via fertilização. O cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) apresentaram níveis moderados a altos, mas a baixa saturação por bases indica a

necessidade de ajuste para melhorar a disponibilidade desses nutrientes. Os teores de carbono orgânico foram moderados a altos (30,74 – 32,22 g dm^{-3}), refletindo um bom aporte de matéria orgânica, o que favorece a retenção de nutrientes e a atividade microbiológica.

A Tabela 2 apresenta os atributos microbiológicos do solo sob diferentes sistemas de rotação de culturas e sucessão, em um Latossolo Vermelho cultivado sob plantio direto em Santa Tereza do Oeste, PR.

Tabela 2. Atributos microbiológicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de rotação de culturas em plantio direto, em Santa Tereza do Oeste, Paraná, safra 2023/2024.

Tratamentos	CBM	NBM	Respiração basal	Quociente metabólico (qCO_2)
	µg CBM g^{-1} solo	µg NBM g^{-1} solo	µg C-CO_2 g^{-1} solo h^{-1}	µg C-CO_2 mg^{-1} Cmic h^{-1}
T1	652,54b	38,33^{ns}	0,38^{ns}	0,59ab
T2	731,20ab	39,38	0,41	0,56b
T3	666,34b	33,08	0,49	0,74a
T4	817,46a	39,51	0,42	0,52b
T5	738,85ab	31,76	0,45	0,61ab
T6	807,35a	41,82	0,46	0,58b
CV (%)	8,29	15,49	12,54	13,05

Nota: Tratamentos: T1) sucessão soja e milho; T2) sucessão soja e milho safrinha com plantas de cobertura (aveia preta+nabo); T3) RC com soja e feijão/aveia preta+centeio; T4 – RC com produção de palhada pelos cereais de inverno, sem colheita de grãos: soja e aveia preta +centeio+ervilha; T5) RC com plantas de cobertura (PC) no inverno: soja e milheto+nabo+crotalaria/aveia; T6) RC diversificado com soja e crotalaria/trigo. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0.05$). CBM: carbono da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana.

O CBM variou entre 652,54 e 817,46 µg C g^{-1} solo, com diferença estatística significativa (p=0,034), indicando que a composição dos sistemas de cultivo influenciou a atividade microbiana do solo. Os tratamentos com maior diversificação de culturas apresentaram valores mais elevados de CBM, sendo T4 (817,46 µg C g^{-1} solo) e T6 (807,35 µg C g^{-1} solo) os tratamentos que promoveram maior acúmulo de carbono microbiano. Isso pode estar relacionado ao maior aporte de matéria orgânica e à diversificação vegetal, que favorecem a multiplicação de microrganismos no solo. Por outro lado, o tratamento T1 (sucessão soja-milho) apresentou um dos menores valores de CBM (652,54 µg C g^{-1} solo), evidenciando que sistemas menos diversificados reduzem a biomassa microbiana, possivelmente devido à menor oferta de resíduos orgânicos e diversidade de exsudatos radiculares.

O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) variou entre 31,76 e 41,82 µg N g^{-1} solo, mas não apresentou diferenças estatísticas significativas (p=0,2959) entre os tratamentos. Isso sugere que, apesar das diferenças no CBM, a incorporação de nitrogênio microbiano permaneceu relativamente constante entre os sistemas de manejo, podendo estar relacionada à mineralização e ciclagem do nutriente no solo.

A respiração basal variou entre 0,38 e 0,49 µg C-CO_2 g^{-1} solo h^{-1}, sem diferença estatística significativa (p=0,2921), indicando que os tratamentos não influenciaram diretamente a atividade respiratória da microbiota. Isso demonstra que, independentemente do manejo adotado, a atividade metabólica dos microrganismos foi semelhante, podendo estar relacionada ao nível de matéria orgânica e à umidade do solo no momento da análise.

O quociente metabólico (qCO_2) apresentou diferença estatística significativa (p=0,009) entre os tratamentos, variando entre 0,52 e 0,74 µg C-CO_2 mg^{-1} Cmic h^{-1}. O T3 (rotação de culturas com soja e feijão no verão e aveia preta+centeio no inverno) apresentou o maior qCO_2 (0,74), indicando que a microbiota do

solo está sob maior estresse metabólico, possivelmente devido à menor estabilidade do ambiente microbiológico ou menor eficiência no uso do carbono.

Os tratamentos T1, T2, T4, T5 e T6 apresentaram os menores valores de qCO_2 (<0,61), indicando maior eficiência microbiana e menor perda de carbono na forma de CO_2. Isso é desejável, pois reflete um maior armazenamento de carbono na biomassa microbiana e menor respiração excessiva, contribuindo para a sustentabilidade do sistema produtivo.

CONCLUSÕES

A rotação de culturas e a cobertura vegetal no inverno aumentam a biomassa microbiana do solo (CBM), especialmente em sistemas com maior diversidade de cultivos e presença de palhada, como nos tratamentos T4 e T6. Em contrapartida, sistemas menos diversificados, como o T1 (sucessão soja-milho), apresentam menor CBM, evidenciando a necessidade de práticas que favoreçam o aporte de matéria orgânica e a diversificação de espécies vegetais.

O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) e a respiração basal (RB) não são alterados pela rotação de culturas.

A rotação de culturas influencia o quociente metabólico (qCO_2), sendo maior no tratamento T3 (soja e feijão/aveia preta+centeio), o que indica maior estresse microbiano e menor eficiência na retenção de carbono.

Os resultados deste estudo confirmam a hipótese de que a implantação de diferentes sistemas de rotação de culturas, em comparação ao sistema de sucessão de culturas, promove alterações significativas nas propriedades microbiológicas do solo sob plantio direto, evidenciando a importância da rotação de culturas e do uso de plantas de cobertura como estratégias para melhorar a saúde microbiológica do solo e garantir maior sustentabilidade ao sistema produtivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ITAIPU – Projeto AISA e ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR) pelo financiamento e suporte técnico ao projeto.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 215-221, 1978.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil* **Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 140, p. 1-9, 2014.

BASSEGIO, Doglas *et al*. Impact of sowing time of maize and ruzigrass intercropping systems on soil chemical, physical and microbiological properties in an Oxisol from southern Brazil. **Geoderma Regional**, p. e00937, 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

FERTILIDADE E ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO COM APLICAÇÃO DE DEJETOS ANIMAIS EM UNIDADES RURAIS DA BACIA DO RIO OCOÍ

Breynner Gustavo Pavão Bertagnoli[1], José Francirlei de Oliveira[2], Andréa Scaramal da Silva Menoncin[1*], Graziela Moraes de Cesare Barbosa[3], Arnaldo Colozzi Filho[3]

[1] Bolsista de pós-doutorado, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER. *andreascaramal@yahoo.com.br; [2]Analista, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER; [3] Pesquisador, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER.

RESUMO

Os dejetos animais, como dejeto líquido de suínos (DLS) e cama de aviário (CA), são amplamente utilizados em unidades rurais para melhorar a fertilidade do solo. Diante disso, o objetivo foi avaliar os efeitos da aplicação de DLS, CA e da combinação desses dois dejetos sobre a fertilidade do solo e correlacionar os atributos microbiológicos e a fertilidade do solo. As amostras foram coletadas em 18 unidades rurais da região Oeste do Paraná, das quais seis utilizavam exclusivamente DLS, oito aplicavam apenas CA e quatro realizavam a aplicação combinada dos dois dejetos. Os resultados indicaram que a aplicação isolada de CA aumentou a fertilidade do solo em comparação à aplicação de DLS, enquanto a combinação dos dejetos resultou em valores intermediários. Além disso, observou-se uma correlação positiva entre a atividade enzimática e a fertilidade do solo nas áreas com aplicação de dejetos animais.

PALAVRAS-CHAVE: Dejeto líquido de suínos; Cama de aviário; Manejo do solo.

INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos animais, como dejeto líquido de suínos (DLS) e cama de aviário (CA), como fertilizantes em áreas agrícolas tem se mostrado uma prática eficaz para melhorar a saúde do solo e a produtividade das culturas, ao mesmo tempo em que promove a reciclagem de nutrientes e a destinação adequada desses resíduos (Bertagnoli *et al*., 2020). No entanto, a aplicação desses resíduos deve ser cuidadosamente manejada para evitar impactos ambientais adversos, como a contaminação do solo por excesso de metais pesados, acúmulo excessivo de nutrientes e a poluição de corpos d'água via escoamento superficial ou percolação. Além disso, o tipo de dejeto utilizado pode influenciar significativamente a comunidade microbiana e a fertilidade do solo (Gao *et al*., 2020).

Bertagnoli *et al*. (2020) observaram que o DLS, devido ao seu baixo teor de matéria orgânica e alta fluidez, sofre rápida decomposição no solo, promovendo alterações efêmeras na fertilidade e microbiologia do solo, mas com potencial para impactar camadas subsuperficiais. Em contrapartida, a CA, por ser um material sólido e mais recalcitrante, apresenta mineralização mais lenta, proporcionando alterações mais expressivas e persistentes na fertilidade e microbiologia do solo, especialmente na camada superficial.

Diante desse contexto, a hipótese do presente estudo é que a aplicação combinada de DLS e CA em unidades rurais contribui para o aumento da fertilidade do solo de forma mais eficiente do que a aplicação isolada de cada dejeto. Além disso, outra hipótese é que a microbiota do solo seja estimulada pela adição dos dejetos, influenciando a fertilidade do solo. Assim, o objetivo foi avaliar os efeitos da aplicação de DLS, CA e da combinação desses dois dejetos sobre a fertilidade do solo, bem como analisar a relação entre os atributos microbiológicos e a fertilidade do solo em unidades rurais localizadas na bacia do rio Ocoí.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em 18 áreas de cultivo agrícola localizadas em unidades rurais situadas na bacia do rio Ocoí, situadas nos municípios de Itaipulândia, Missal, Medianeira e Matelândia. As coletas de solo foram realizadas durante a safra de inverno, nos meses de setembro de 2022 e setembro de 2023. As

amostras foram coletadas na profundidade de 0-10 cm, combinando quatro subamostras em uma amostra composta por unidade rural. Das 18 unidades rurais avaliadas, seis utilizam exclusivamente dejeto líquido de suínos (DLS), oito aplicam apenas cama de aviário (CA) e quatro realizam a aplicação combinada de ambos os resíduos (DLS-CA).

Nas amostras de solo, foram realizadas análises microbiológicas e de fertilidade. A biomassa microbiana foi determinada por meio do carbono e do nitrogênio microbiano, seguindo a metodologia descrita por Jenkinson e Powlson (1976). A atividade das enzimas fosfatase ácida e básica, arilsulfatase e β-glicosidase foi quantificada conforme a metodologia de Tabatabai (1994). A respiração basal do solo e o quociente metabólico foram determinados de acordo com Silva *et al*. (2007). Os atributos de fertilidade analisados incluíram o teor de fósforo, determinado pelo extrator Mehlich-1, e o teor de carbono orgânico, estimado pelo método de Walkley e Black. A soma de bases (SB) foi obtida pela soma dos teores de cálcio, magnésio e potássio, enquanto que a capacidade de troca de cátions (CTC) foi calculada pela soma de cálcio, magnésio, potássio e acidez potencial. Todas as determinações e derivações foram feitas de acordo com Teixeira *et al* (2017).

Os dados foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, e as comparações de médias foram realizadas pelo teste de Dunn, ambos com nível de confiança de 90% ($p \leq 0,1$). Adicionalmente, a correlação de Spearman foi empregada para avaliar a relação entre os atributos de fertilidade do solo e os parâmetros microbiológicos em função da aplicação de dejetos animais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de fertilidade do solo das unidades rurais situadas na bacia do rio Ocoí estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de fertilidade do solo em unidades rurais que recebem aplicações de cama de aviário (CA), dejeto líquido de suínos (DLS) ou a combinação de ambos (DLS-CA) na bacia do rio Ocoí.

Dejetos	Pm mg/dm^3	C g/dm^3	SB cmol$_c$/dm^3	CTC cmol$_c$/dm^3
CA	219,38 a	19,45 a	12,36 a	16,87 a
DLS-CA	74,98 ab	20,09 a	9,41 ab	14,26 ab
DLS	38,32 b	17,74 a	7,56 b	13,61 b
p-valor	0,02	0,24	0,02	0,05

Notas: Pm = fósforo Mehlich-1; C = Carbono orgânico; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions.

A fertilização do solo apenas com CA resultou em maiores teores de Pm, SB e CTC em comparação ao DLS. Esses resultados indicam que a aplicação de CA pode aumentar significativamente a disponibilidade de fósforo no solo, promovendo maior fertilidade em relação ao DLS. O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, e sua maior disponibilidade no solo após a aplicação de CA pode beneficiar culturas agrícolas, especialmente em solos naturalmente pobres nesse elemento (Gao *et al*., 2020). Por outro lado, o DLS, devido ao seu menor teor de fósforo, pode ser menos eficiente nesse aspecto, o que pode ser considerado no planejamento da adubação.

A maior SB observada nas unidades rurais com aplicação de CA indica que esse dejeto fornece uma quantidade superior de cátions essenciais para as culturas, contribuindo para a melhoria da fertilidade do

solo. Em contrapartida, a aplicação de DLS parece ser menos eficaz no fornecimento de bases trocáveis, o que pode comprometer a disponibilidade de nutrientes para as culturas. De modo semelhante, os resultados de CTC sugerem que a aplicação de CA melhora a capacidade do solo de reter nutrientes, o que pode ser benéfico para a manutenção da fertilidade a longo prazo. Um solo com maior CTC tem maior capacidade de armazenar e disponibilizar nutrientes de forma gradual às plantas, favorecendo o crescimento vegetal (EMBRAPA, 2018).

O teor de carbono orgânico do solo não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, sugerindo que a aplicação dos diferentes dejetos não influenciou o acúmulo de matéria orgânica do solo.

A relação dos atributos microbianos com a fertilidade do solo com aplicação de dejetos animais está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Correlação de Spearman entre as variáveis microbiológicas e a fertilidade do solo em áreas agrícolas que recebem aplicações de cama de aves (CA), dejeto líquido de suínos (DLS) ou a combinação de ambos (DLS-CA) na bacia do rio Ocoí.

Atributos microbiológicos	Pm mg/dm^3	C g/dm^3	SB cmol$_c$/dm^3	CTC cmol$_c$/dm^3
Arilsulfatase	-0,35	0,16	0,54	0,12
Fosfatase ácida	0,61	0,57	-0,20	0,51
Fosfatase básica	-0,16	0,53	0,45	0,44
β-glicosidase	0,06	0,72	0,77	0,58
Carbono da biomassa microbiana	0,06	0,35	0,22	0,38
Respiração basal do solo	0,06	0,29	0,47	0,40
Quociente metabólico	-0,07	-0,09	0,06	-0,08

Notas: Pm = fósforo Mehlich-1; C = Carbono orgânico; SB = soma de bases; e CTC = capacidade de troca de cátions.

A atividade da arilsulfatase apresentou correlação positiva com SB (0,54), sugerindo que solos mais férteis e ricos em cátions trocáveis, favorecem sua atividade, possivelmente devido à maior sustentação da microbiota nesses ambientes. A fosfatase ácida correlacionou positivamente com Pm (0,61), C (0,57) e CTC (0,51), indicando sua atuação na mineralização de compostos orgânicos de fósforo, tornando-o disponível para as plantas. A correlação com o carbono reforça a relação entre o maior teor de matéria orgânica e atividade microbiana e enzimática, enquanto a associação com CTC sugere que solos com maior CTC proporcionam condições mais favoráveis para a atividade enzimática. De modo semelhante, a fosfatase básica apresentou correlações positivas com C (0,53), evidenciando sua dependência dos níveis de fertilidade e matéria orgânica do solo.

A β-glicosidase, responsável pela degradação de polissacarídeos e liberação de açúcares simples para a microbiota, apresentou correlações positivas com C (0,72), SB (0,77) e CTC (0,58). Esses resultados indicam que sua atividade é dependente da matéria orgânica e da fertilidade do solo, uma vez que esses fatores sustentam comunidades microbianas ativas. Solos com maior matéria orgânica fornecem substratos para a β-glicosidase, resultando em maior atividade enzimática (WALMSLEY; SKLENIČKA, 2017).

A respiração basal do solo, indicador da atividade microbiana e do metabolismo do solo, apresentou correlações positiva com SB (0,47) e CTC (0,40), sugerindo que solos com maior fertilidade catiônica

favorecem a atividade microbiana. Esse efeito pode ser atribuído à presença de nutrientes trocáveis, que criam um ambiente mais estável e rico em substratos para a microbiota. Por outro lado, o quociente metabólico, que reflete a eficiência do uso do carbono pelas comunidades microbianas, não apresentou correlações significativas com os atributos de fertilidade do solo, sugerindo que outros fatores podem influenciar esse parâmetro.

CONCLUSÕES

A aplicação isolada de CA, devido ao seu alto teor de matéria orgânica e nutrientes, melhora significativamente a fertilidade do solo em comparação com o DLS. Por outro lado, a aplicação combinada de CA com DLS apresenta valores de fertilidade do solo intermediários.

A atividade enzimática apresenta correlação positiva com a maioria dos atributos de fertilidade do solo e a aplicação de dejetos animais, evidenciando a influência desses resíduos na dinâmica microbiológica do solo.

AGRADECIMENTOS

À Itaipu Binacional pelo apoio na execução do Projeto Ação Integrada de solo e Água (AISA).

BIBLIOGRAFIA

BERTAGNOLI, B. G. P.; OLIVEIRA, J. F.; BARBOSA, G. M. C.; COLOZZI FILHO, A. Poultry litter and liquid swine slurry applications stimulate glomalin, extraradicular mycelium production, and aggregation in soils. **Soil and Tillage Research**, v. 202, 104657, 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2018. p. 353.

GAO, F. Z.; HE. L. Y.; HE, L. X.; ZOU, H. Y.; ZHANG, M.; WU, D. L.; LIU, Y. S.; SHI, Y. J.; BAI, H.; YING, G. G. Untreated swine wastes changed antibiotic resistance and microbial community in the soils and impacted abundances of antibiotic resistance genes in the vegetables. **Science of The Total Environmental**, v. 741, n. 1, 140482, 2020.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V: A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; De-POLLI, H. **Determinação da respiração basal e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Embrapa Agroecologia, Seropédica, Comunicado Técnico 99, 2007.

TABATABAI, M. A. **Soil Enzymes**. *In*: Weaver, R. W.; Angle, J. S.; Botttomley, P. S. (Eds.). Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

WALMSLEY, A.; SKLENIČKA, P. Various effects of land tenure on soil biochemical parameters under organic and conventional farming − Implications for soil quality restoration. **Ecological Engineering**, v. 107, p. 137-143, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO (*Eucalyptus grandis*) ADUBADO COM LODO DE ESGOTO TRATADO

Kleber Henrique Cabrini Junior[1*], Marcos Augusto Schinda[2], Bruna Ramalho[3], Mayara Scibor Amaral[4], Marcos Antonio Dolinski[5]

[1,2,4] Estudante de graduação na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR *kleber.junior@utp.edu.br, [3,5] Professor na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR.

RESUMO

A busca por práticas sustentáveis em cultivos florestais é crescente, e a aplicação de lodo de esgoto (LE) surge como alternativa de destinação desse resíduo aliado a benefícios ao solo. Este trabalho avaliou o potencial do LE tratado, associado ou não a adubação com superfosfato simples (SPS) no crescimento de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Tuiuti do Paraná (Curitiba-PR), em delineamento de blocos casualizados, com oito tratamentos: quatro doses de LE (0, 3,5, 7 e 14 t ha^{-1}) e as mesmas doses combinadas com 631,5 kg ha^{-1} de SPS. O LE aumentou a massa úmida da parte aérea e radicular, altura da planta e número de perfilhos. A dose recomendada de LE associada à adubação fosfatada teve efeitos positivos sobre a respiração microbiana do solo (7,88 mg C-CO_2 kg^{-1}), evidenciando o potencial da adubação com LE para solos florestais.

PALAVRAS-CHAVE: indicador biológico; cultivo florestal; biossólido.

INTRODUÇÃO

A falta de sistemas de esgotamento sanitário adequados em muitas cidades resulta no lançamento de águas residuárias no meio ambiente, agravando a poluição e gerando um problema social e ambiental que exige soluções imediatas. O tratamento adequado desses resíduos produz o biossólido, que, após processos químicos e/ou térmicos, passa a possuir características viáveis para uso agrícola, atuando como fertilizante ou condicionante do solo (Mesquita *et al*., 2017). O biossólido vem sendo utilizado como condicionador de solo em áreas degradadas e como fonte alternativa de fertilizantes em cultivos cuja parte comestível não entra em contato com o solo (Afaz *et al*., 2017). Essa prática é considerada ambientalmente segura e promissora, especialmente em sistemas florestais, como o cultivo de eucalipto (*Eucalyptus* spp.), que tem grande relevância econômica no Brasil.

O cultivo de eucalipto proporciona diversos benefícios socioeconômicos, além de contribuir para a sustentabilidade da propriedade rural, graças à diversidade de produtos primários e secundários que podem ser obtidos quando o cultivo é implementado de forma planejada e com manejos adequados (Andrade *et al*., 2014).

A aplicação de biossólidos em solos agrícolas e florestais tem se mostrado eficiente no fornecimento de macronutrientes e micronutrientes, além de melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. No entanto, segundo Dominguez (2014), é essencial que o biossólido passe por tratamentos adequados para garantir sua segurança agronômica e ambiental, evitando impactos negativos no solo e na saúde humana. Estudos indicam que o uso excessivo de biossólidos pode prejudicar as comunidades microbianas do solo, especialmente as bacterianas, afetando processos ecológicos essenciais. O aumento da matéria orgânica do solo (MOS) devido à aplicação de biossólidos eleva a atividade microbiana, mas o excesso de carbono pode prejudicar o desenvolvimento dessas comunidades (Santos *et al*., 2009). Por outro lado, a decomposição da matéria orgânica proveniente dos biossólidos pode estimular a atividade de microrganismos antagônicos a patógenos, além de favorecer a presença de organismos que contribuem para a saúde do solo e das plantas.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de LE, associadas ou não à adubação química fosfatada, no crescimento inicial de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e nos parâmetros químicos e microbianos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Tuiuti do Paraná (UTP), situada em Curitiba-PR, cujas coordenadas geográficas são 25°25'27.70"S, 49°19'13.62"O, com 963 m de altitude. A área experimental está inserida em uma região classificada como Cfb (Köppen), com temperatura média mensal entre 13 °C no mês mais frio e 23 °C no mais quente, com precipitação pluviométrica anual de 1575 mm.

Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de LE tratado sem adubação química fosfatada: T1 (0 t ha^{-1} de LE), T2 (3,5 t ha^{-1} de LE), T3 (7 t ha^{-1} de LE), T4 (14 t ha^{-1} de LE), e as mesmas doses associadas com superfosfato simples (SPS): T5 (631,5 kg/ha de SPS + 0 t ha^{-1} de LE), T6 (631,5 kg/ha de SPS + 3,5 t ha^{-1} de LE), T7 (631,5 kg/ha de SPS+ 7 t ha^{-1} de LE), e T8 (631,5 kg/ha de SPS+ 14 t ha^{-1} de LE). O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizados com quatro repetições.

O LE utilizado no estudo foi fornecido pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), o qual foi tratado com cal virgem para sua viável e segura utilização. O solo utilizado para os vasos foi coletado em Campo Largo-PR e foi classificado como Cambissolo háplico (Embrapa, Fundação ABC, 2001).

O solo coletado da camada de 0-20 cm foi acondicionado em vasos de seis litros, e previamente ao plantio das mudas, os tratamentos com presença de LE receberam a aplicação das diferentes doses calculadas a partir do teor de nitrogênio no biossólido e a necessidade desse nutriente pela cultura do eucalipto (70 kg N ha^{-1}), cuja dose recomendada foi de 7 t ha^{-1} (40 g $vaso^{-1}$), e as doses de 3 t ha^{-1} (20 g $vaso^{-1}$) e 14 t ha^{-1} (60 g $vaso^{-1}$), caracterizadas como a subdose e superdose, respectivamente. Para os tratamentos que receberam superfosfato simples, a dose recomendada foi de 1,7 g $vaso^{-1}$ (631,5 kg ha^{-1}) para atender a necessidade da cultura de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5.

As mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) foram transplantadas em janeiro de 2022, uma por vaso, e palhada de milho (*Zea mays*) foi adicionada para manter a umidade do solo. As mudas foram tutoradas com estacas de bambu. O crescimento das plantas foi monitorado quinzenalmente, registrando altura e número de perfilhos, enquanto dados sobre diâmetro do caule, comprimento das raízes e massa da parte aérea e radicular foram coletados após 115 dias após o transplante (DAT).

Em maio de 2022, uma subamostra foi coletada de cada vaso para determinação dos níveis de fósforo (P), potássio (K), pH SMP e pH $CaCl_2$ conforme a metodologia da EMBRAPA (2009). A respiração basal microbiana do solo foi determinada seguindo metodologia proposta por Jenkinson & Powlson (1976), com adaptações.

Os resultados foram submetidos à análise de homogeneidade (teste de Bartlett) e variância ANOVA. Médias entre os tratamentos foram comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$) e análise de regressão com uso dos softwares Sisvar e Microsoft Excel®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros morfológicos das mudas de eucalipto (diâmetro do caule, comprimento e massa de raiz) não apresentaram diferenças estatísticas, independentemente da dose de LE e da adubação fosfatada, possivelmente devido ao curto período experimental e ao ciclo longo da cultura (Tabela 1). No entanto, a massa úmida e seca da parte aérea variou significativamente entre os tratamentos ($p > 0,05$). Para a massa úmida de parte área, os tratamentos com superdose de LE (T4: 29,32 g; T8: 26,12 g) apresentaram valores superiores aos tratamentos referência (T1: 19,81 g; T5: 17,30 g) e estatisticamente iguais às subdose T2 e T6

(22,02 g e 21,26 g, respectivamente) e a dose recomendada, T3 e T7 (22,67 e 23,74 g, respectivamente) (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros morfológicos de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) cultivadas em diferentes doses de lodo de esgoto (0 t ha^{-1}, 3,5 t ha^{-1}, 7 t ha^{-1} e 14 t ha^{-1}) associado ou não a adubação química fosfatada. Curitiba-PR, 2022.

Tratamentos[1]	MU[2] raiz (g)	MS[3] raiz (g)	MU aérea (g)	MS aérea (g)	Comprimento raiz (cm)	Diâmetro caule (mm)	Altura (cm)	Nº perfilhos
T1	11,57 Aa[4]	6,97 Aa	19,81 Ba	10,91 Ba	37,38 Aa	4,50 Aa	40,66 Bb	5,75 Ba
T2	13,96 Aa	7,61 Aa	22,02 Aba	11,85 Aba	53,00 Aa	4,75 Aa	48,28 Aba	8,79 Aba
T3	13,71 Aa	8,17 Aa	22,67 ABa	11,98 ABa	50,50 Aa	4,75 Aa	49,00 Aa	7,29 Ba
T4	17,21 Aa	7,97 Aa	29,32 Aa	15,18 Aa	43,75 Aa	6,00 Aa	46,75 ABa	12,96 Aa
T5	10,55 Aa	6,49 Aa	17,30 Ba	9,92 Ba	38,50 Aa	4,25 Aa	47,84 Aa	3,86 Ba
T6	13,17 Aa	7,19 Aa	21,26 ABa	11,49 ABa	51,00 Aa	5,00 Aa	49,91 Aa	7,04 ABa
T7	14,10 Aa	7,53 Aa	23,74 ABa	12,66 ABa	41,25 Aa	5,00 Aa	47,72 Aa	6,61 ABa
T8	13,37 Aa	7,44 Aa	26,12 Aa	14,01 Aa	55,38 Aa	5,50 Aa	46,63 Aa	11,07 Aa

[1]T1= 0 t ha^{-1} de LE; T2= 3,5 t ha^{-1} de LE; T3= 7 t ha^{-1} LE; T4= 14 t ha^{-1} de LE; T5= 0 t ha^{-1} LE + 631,5 kg ha^{-1} superfosfato simples; T6= 3,5 t ha^{-1} LE + 631,5 kg ha^{-1} superfosfato simples; T7= 7 t ha^{-1} LE + 631,5 kg ha^{-1} superfosfato simples; T8= 14 t ha^{-1} LE + 631,5 kg ha^{-1} superfosfato simples. [2]MU = massa úmida; [3]MS = massa seca. [4]Letras maiúsculas na coluna comparam as diferentes doses de LE na mesma dose de adubo fosfatado. Letras minúsculas na coluna comparam as mesmas doses de LE dentro das mesmas doses de fósforo.

A adição de LE influenciou o número de perfilhos, sendo maior nas superdoses (12,96 sem fósforo; 11,07 com fósforo). A altura das plantas também variou entre os tratamentos, com a testemunha (40,66 cm) sendo inferior à dose recomendada (49,00 cm) sem adubação fosfatada, mas sem diferença quando esta foi aplicada (Tabela 1). O pouco ou nenhum efeito da adubação fosfatada, associada ao LE, em alterar a altura da planta também foi mencionado por Silva *et al*. (2008).

Os parâmetros de fertilidade do solo apresentaram pouca variação estatística. O pH SMP foi maior na dose recomendada (8,68) do que na testemunha (5,59) e subdose (5,81), sendo estatisticamente igual à superdose (7,94; Tabela 2). A adubação fosfatada não alterou significativamente o pH ($CaCl_2$), mas aumentou os teores de potássio na subdose de LE (7,14 cmolc dm^{-3}) em comparação com a ausência de suplementação (4,63 cmolc dm^{-3}; Tabela 2). O fósforo do solo foi influenciado pela adubação fosfatada, exceto na superdose de LE (0,95 mg dm^{-3} com fósforo; 0,63 mg dm^{-3} sem fósforo). Segundo Silva *et al*. (2008), 10 t ha^{-1} de LE com potássio atenderiam a demanda inicial do eucalipto; contudo, os níveis de fósforo permaneceram baixos (<2 mg dm^{-3}), enquanto o potássio, mesmo elevado, foi suficiente para a cultura.

Embora, o baixo efeito das doses de lodo esgoto nos parâmetros químicos analisados no presente estudo, diversos trabalhos comprovaram que o biossólido quando comparado aos fertilizantes minerais para o cultivo de eucalipto, apresenta-se como uma fonte alternativa de adubação, visto que a maioria dos solos destinados ao cultivo de espécies florestais são solos de baixa fertilidade

A respiração microbiana do solo apresentou resultados significativos para as diferentes doses de lodo de esgoto, independente da presença ou ausência de suplementação química (Tabela 2). Quando não realizado a adubação fosfatada, o tratamento testemunha (7,65 mg C-CO_2 kg^{-1}) foi maior estatisticamente a dose recomendada (4,95 mg C-CO_2 kg^{-1}), e igual estatisticamente a subdose (7,01 mg C-CO_2 kg^{-1}) e a superdose (7,43 mg C-CO_2 kg^{-1}) (Tabela 4). Resultado contrário foi observado na presença de adubação fosfatada, onde a dose recomendada (7,88 mg C-CO_2 kg^{-1}) foi maior estatisticamente a testemunha, a

subdose e a superdose, 5,40 mg C-CO_2 kg-1, 6,94 mg C-CO_2 kg^{-1}, e 6,53 mg C-CO_2 kg^{-1}, respectivamente (Tabela 4). Esses dados se devem basicamente pela fonte de fósforo aplicada ser prontamente assimilável pelas plantas e pelos microrganismos do solo, controlando assim suas atividades (Cardoso & Andreote, 2016).

Tabela 2. Parâmetros químicos e respiração microbiana do solo sob mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) cultivadas em diferentes doses de lodo de esgoto (0 t ha^{-1}, 3,5 t ha^{-1}, 7 t ha^{-1} e 14 t ha^{-1}) associado ou não a adubação química fosfatada. Curitiba-PR, 2022.

Tratamentos[1]	pH ($CaCl_2$)		pH (SMP)		Fósforo (mg dm^{-3})		Potássio ($cmol_c$ dm^{-3})		Respiração microbiana (C-CO_2 kg^{-1})	
T1	4,39	Aa[2]	5,59	Ba	0,68	Ab	6,21	Aa	7,65[3]	Aa
T2	5,17	Aa	5,81	Ba	0,63	Ab	4,63	Ab	7,01	Aba
T3	5,20	Aa	8,68	Aa	0,60	Ab	6,65	Aa	4,95	Bb
T4	5,64	Aa	7,94	Aba	0,63	Aa	6,05	Aa	7,43	ABa
T5	4,71	Aa	6,27	Aa	1,20	Aa	6,58	Aa	5,40	Bb
T6	4,56	Aa	5,86	Aa	1,24	Aa	7,14	Aa	6,94	Ba
T7	4,76	Aa	6,74	Aa	1,27	Aa	6,05	Aa	7,88	Aa
T8	5,35	Aa	7,33	Aa	0,96	Aa	5,91	Aa	6,53	Ba

[1]T1= 0 t ha^{-1} de LE; T2= 3,5 t ha^{-1} de LE; T3= 7 t ha^{-1} LE; T4= 14 t ha^{-1} de LE; T5= 0 t ha^{-1} LE + 631,5 kg ha^{-1} superfosfato simples; T6= 3,5 t ha^{-1} LE + 631,5 kg ha^{-1} superfosfato simples; T7= 7 t ha^{-1} LE + 631,5 kg ha^{-1} superfosfato simples; T8= 14 t ha^{-1} LE + 631,5 kg ha^{-1} superfosfato simples. [2]Letras maiúsculas na coluna comparam as diferentes doses de LE na mesma dose de adubo fosfatado. Letras minúsculas na coluna comparam as mesmas doses de LE dentro das mesmas doses de fósforo. [3] Dados transformados: raiz (Y + 0,5); CV = 8,98%.

CONCLUSÕES

A aplicação de lodo de esgoto tratado influenciou significativamente o desenvolvimento das mudas de eucalipto, com melhorias nos parâmetros morfológicos a partir da dose de 3,5 t ha^{-1}, independentemente da adubação fosfatada. Quanto aos parâmetros químicos, mesmo na ausência de fósforo, a aplicação de lodo de esgoto tratado nas doses de 7 e 14 t ha^{-1} elevou o pH SMP, reduzindo a acidez do solo.

A respiração microbiana foi a variável mais sensível, respondendo significativamente tanto à adubação fosfatada quanto às doses de biossólido. A aplicação de 7 t ha^{-1} de lodo de esgoto em combinação com fósforo mostrou potencial para melhorar a qualidade biológica do solo.

BIBLIOGRAFIA

AFÁZ, D. C. D. S., BERTOLAZI, K. B., VIANI, R. A. G., & SOUZA, C. F. (2017). **Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto**. Revista Ambiente & Água, 12, 112-123.

ANDRADE, G., AUER, C., QUEIROZ, D., SILVA, H., OLIVEIRA, E., WENDLING, I., ... & IEDE, E. (2014**). Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. EMBRAPA. Brasília DF.

DOMINGUEZ, D. X. **Avaliação dos riscos ambientais associados à utilização agrícola de lodo de esgoto como condicionador e fertilizante de solo**. 2014. Tese – Doutorado. Ciência Ambiental. USP São Paulo. 2014.

EMPRAPA/Fundação ABC. **Mapa do Levantamento semidetalhado de solos**, 2001.

EMPRAPA. **Manual de análises químicas de solos e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Brasília: Embrapa Solos, 2009. 627p.

MESQUITA, G. R. A., RANDOW, J. R. V., OLIVEIRA, R. L., & GONÇALVES, M. V. V. A. (2017**). Viabilidade do lodo de esgoto na agricultura**. Revista Perspectivas Online. Ciências Exatas e Engenharia. Campos Goytacazes, Rio de Janeiro, 17(07), 80-87.

SILVA, P. H. M. D., POGGIANI, F., GONÇALVES, J. L. D. M., & STAPE, J. L. (2008). **Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco**. Revista Árvore, 32, 845-854.

SANTOS, J. A., dos SANTOS, V. B., & de ARAÚJO, A. S. F. (2009). **Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto**.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM MAIS DE 25 ANOS DE IMPLEMENTAÇÃO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.

Caroline Rusch Schulze[1*], Kauanna Brok Ferreira Pepe[2], Krisle da Silva[3], Marie Luise Carolina Bartz[4], Glaciela Kaschuk[3]

[1] Estudante de mestrado, Universidade Federal do Paraná-UFPR, *carolinerschulze@gmail.com; [2]Estudante de mestrado, Universidade Federal do Paraná-UFPR, kauanna.bfp@gmail.com; [3] Pesquisadora, EMBRAPA Florestas, krisle.silva@embrapa.br; [4]Professora Visitante, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, bartzmarie@gmail.com; [5]Professora, Universidade Federal do Paraná-UFPR, glaciela.kaschuk@ufpr.br

RESUMO

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um sistema desenvolvido para promover a conservação do solo e a sustentabilidade agrícola. Sendo o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BM) um indicador da saúde de solo, é esperado que áreas de SPD bem manejadas acumulem mais C-BM do que as áreas mal manejadas. Para confirmar essa hipótese, amostras de solos foram coletadas em áreas de vegetação nativa, SPD e mal manejadas, em seis propriedades agrícolas da região Sul do Brasil. Foram analisados atributos químicos e o C-BM. Os sistemas cultivados tiveram melhor fertilidade e menor C-BM do que as áreas de vegetações nativas. As áreas de SPD tiveram maiores valores de C-BM do que as áreas mal manejadas. O C-BM mostrou-se um indicador de saúde do solo sensível aos diferentes manejos de solo e demonstrou que o SPD melhora a saúde do solo.

PALAVRAS-CHAVE: biomassa microbiana do solo; sistema plantio direto; microbiologia do solo.

INTRODUÇÃO

A insegurança alimentar no Brasil entre 2020 e 2022 afetou cerca de 70,3 milhões de pessoas, sendo impulsionada pelo crescimento populacional e pela crescente pressão sobre os recursos naturais (FAO *et al.*, 2023). No Brasil, ainda restam cerca de 2,5 milhões de pessoas em situação de insegurança alimentar severa, representando um desafio contínuo para os próximos anos (SOFI, 2024). Para produzir mais alimentos e fibras, a agricultura é cada vez mais intensificada causando degradação ambiental significativa, especialmente quando a recuperação das áreas afetadas não é priorizada, impactando diretamente os ecossistemas e a biodiversidade (Brown *et al.,* 2018; Bertol *et al.,* 2019). Sobretudo, a intensificação agrícola e o manejo inadequado do solo têm levado à degradação do solo, resultando em erosão, compactação, perda da fertilidade química e da saúde do solo, acarretando diretamente na produção alimentar (Oliveira *et al.,* 2021).

A adoção de boas práticas agrícolas, como o Sistema de Plantio Direto (SPD), busca reduzir o impacto ambiental sem comprometer a produtividade agrícola (Denardin e D'Agostin, 2019). O SPD, introduzido no Brasil no final da década de 60, surgiu como uma estratégia para mitigar os efeitos da erosão e melhorar as condições do solo (Denardin *et al.,* 2014; Silva *et al.,* 2023).

A biomassa microbiana do solo desempenha um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes para as plantas. O C da biomassa microbiana (C-BM) é reservatório de C altamente dinâmico, influenciado por vários fatores, como, tipo de solo, manejo e condições climáticas, funcionando como um indicador sensível das mudanças ambientais e da saúde do solo (Kaschuk *et al*., 2010, Anzalone *et al*., 2020). O objetivo desse trabalho é avaliar os impactos do SPD bem implementado em algumas propriedades agrícolas da região Sul nos atributos químicos e no C-BM como indicadores da qualidade e saúde do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com amostras de solo coletadas em propriedades agrícolas dos três estados da região Sul do Brasil. Foram selecionadas seis fazendas credenciadas na Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto-FEBRAPDP, cada fazenda selecionada apresenta três áreas distintas dentro da propriedade: vegetação nativa (bioma Mata Atlântica), com preservação dos recursos naturais (VN), área com SPD, com implementação do sistema há pelo menos 25 anos e área de cultivo considerada uma área mal manejada (AMM). Em cada uma das três áreas de cada fazenda, foram realizados nove pontos de coleta de solo, dentro de áreas delimitadas de 750 m^2, totalizando 27 amostras de solo em cada uma das seis fazendas.

As coletas foram feitas no mês de outubro de 2024. No Paraná foi coletado solo em Mangueirinha, fazenda 1 (cujo coordenadas geográficas são 26°02'56.2"S 52°14'37.0"W), com 28 anos de duração na área de SPD. Em Santa Catarina, foi coletado solo em Faxinal dos Guedes, fazenda 2 (26°47'0.7"S 52°13'48.0"W), com 29 anos de SPD. No estado do Rio Grande do Sul, foi coletado em Panambi, fazenda 3 (28°21'07.0"S 53°25'07.2"W), com 29 anos de duração da área de SPD, em Ijuí, fazenda 4 (28°08'32"S 53°46'0.9"W), com 31 anos de SPD, em Cruz Alta, fazenda 5 (28°46'11.8"S 53°35'08.2"W), com 31 anos de duração de SPD, em Muitos Capões, fazenda 6 (28°23'30"S 51°04'41.4"W), com 38 anos de SPD.

Na coleta de solo em cada ponto, foi retirado um anel volumétrico de 125 cm^3 de volume da camada 0-10 cm de profundidade de solo, para a análise do C-BM e foi retirado um monólito (25 cm x 25 cm) da camada de 0-10 cm de profundidade, para as análises da composição química.

As amostras de solo coletadas foram peneiradas com peneira granulométrica, de dois mm de diâmetro e armazenadas em coolers durante a viagem.

As análises laboratoriais iniciaram com a determinação dos principais elementos químicos do solo, seguindo Tedesco *et al*. (1995) e do C-BM foi seguindo a metodologia de SILVA *et al.*, (2007).

Os dados obtidos no experimento foram submetidos a análise estatística com teste de Tukey ($p<0,05$) foi aplicado para confirmação da diferença significativa entre os dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, as áreas cultivadas melhoraram a fertilidade do solo, especialmente o pH e a saturação de bases, em relação às áreas de VN. Por outro lado, entre as áreas cultivadas, o SPD apresentou valores maiores de P disponível do que as AMM (Tabela 1). A evidente melhoria da disponibilidade de nutrientes (no caso, o P disponível) nas áreas sob SPD em relação às AMM (Tabela 1) corroboram os estudos de Chaveiro *et al.* (2022), que demonstraram que o SPD melhora a fertilidade do solo em relação às áreas de cultivo convencional.

Entretanto, nesse estudo, o parâmetro que mais distinguiu os manejos de solo foi o C-BM. Conforme mostrado na Figura 1, as áreas de VN sempre tiveram valores maiores de C-BM em relação às áreas cultivadas (SPD e AMM). Além disso, com exceção da fazenda 6, as áreas de SPD tiveram maiores valores de C-BM do que as áreas de AMM (Figura 1). Portanto, os resultados evidenciam que o C-BM é um parâmetro sensível às mudanças de manejo do solo, tal como vem sendo proposto há mais de uma década na literatura (Kaschuk *et al*., 2010; Anzalone *et al*. 2020). Segundo esses autores, o C-BM é um atributo sensível para diagnosticar alterações de vitalidade do solo, antes mesmo de que as modificações nos atributos químicos sejam evidenciadas. Os dados de C-BM sugerem que o SPD melhora as condições de cultivo do solo, conforme descrito por Alves (2023). Sobretudo, um aspecto interessante foi que os valores de C-BM das áreas sob SPD tendem a se distanciar dos resultados observados no AMM e a se aproximar dos valores da VN, da mesma forma que foi relatado por Silva *et al.* (2023).

Tabela 1. Atributos químicos do solo sob três manejos: VN = Vegetação Nativa, SPD = Sistema Plantio Direto, AMM = Área Mal Manejada, em seis municípios do Sul do Brasil: 1 = Mangueirinha (PR), 2 = Faxinal dos Guedes (SC), 3 = Panambi (RS); 4 = Ijuí (RS), 5 = Cruz Alta (RS) e 6 = Muitos Capões (RS).

Local	Atributo	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	CTC	V	Argila	Silte	Areia
	Unidade		g dm^{-3}	mg dm^{-3}	cmol$_c$ dm^{-3}	cmol$_c$ dm^{-3}	cmol$_c$ dm^{-3}	cmol$_c$ dm^{-3}	%	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}
	VN	3,71	44,22	11,80	1,72	18,44	7,33	330,42	8,56	516,78	227,33	255,89
1	SPD	5,47	44,56	9,76	5,64	106,33	47,22	198,63	80,67	537,22	269,22	193,56
	AMM	5,43	49,00	6,76	3,27	100,22	36,22	198,82	70,78	480,33	253,00	266,67
	VN	3,90	44,56	1,49	1,57	15,44	6,44	220,07	10,89	709,00	166,78	124,22
2	SPD	4,60	39,22	6,32	2,71	64,89	15,00	179,26	46,33	588,11	291,89	120,00
	AMM	5,48	35,22	3,53	3,57	82,11	40,22	162,63	77,56	655,67	279,78	64,56
	VN	4,51	33,22	1,90	2,57	57,44	23,78	166,51	50,33	486,44	289,11	224,33
3	SPD	5,43	27,11	23,48	3,80	68,78	24,44	132,49	73,33	423,00	181,89	395,00
	AMM	5,07	24,33	3,88	2,79	53,78	29,00	134,18	64,00	496,33	205,67	298,33
	VN	5,30	28,56	1,31	7,07	115,11	24,11	41,44	76,00	571,67	288,22	140,22
4	SPD	5,29	29,11	11,48	3,77	92,11	29,44	45,22	73,44	552,44	255,56	192,11
	AMM	5,09	20,00	5,31	4,11	62,11	40,56	57,11	64,89	601,11	263,22	135,56
	VN	4,39	23,67	1,47	1,13	42,22	22,22	73,22	46,89	376,33	249,11	374,67
5	SPD	5,63	28,44	25,38	5,29	81,56	38,56	25,78	83,00	437,00	234,22	328,89
	AMM	5,72	20,56	9,02	2,16	53,44	36,89	29,67	74,89	467,89	233,44	298,67
	VN	4,67	27,89	1,83	4,48	67,00	26,44	75,22	56,78	564,22	298,78	137,00
6	SPD	5,12	36,56	12,22	4,50	93,56	31,78	53,22	71,00	545,89	261,56	192,78
	AMM	5,16	32,22	6,90	4,32	90,89	28,67	50,00	71,00	611,56	277,11	111,22

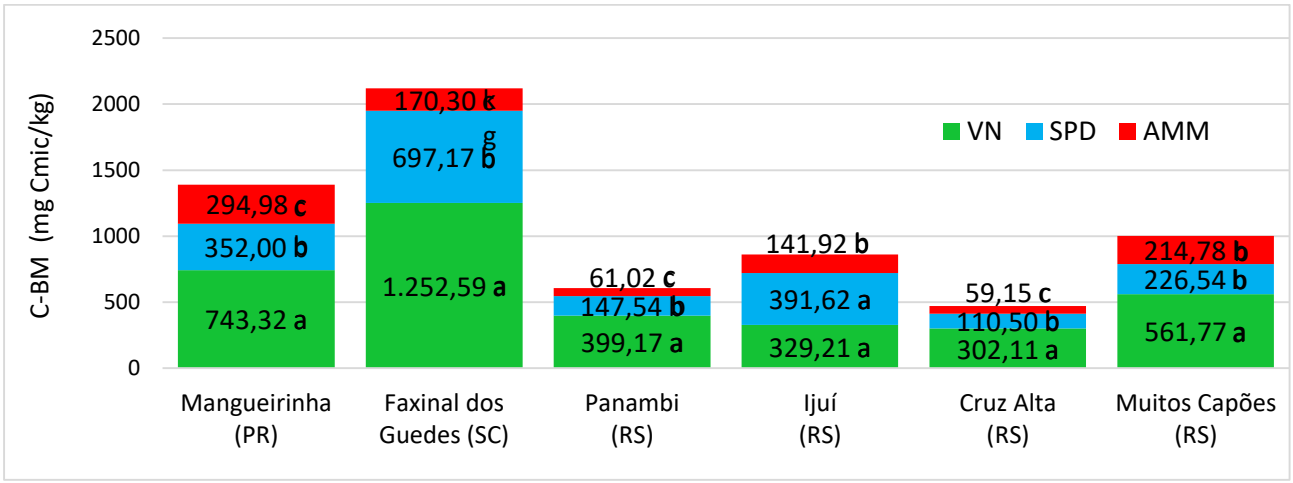


Figura 1. Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C-BM), nas diferentes áreas de cada propriedade rural estudada.

CONCLUSÕES

É possível concluir que a avaliação C-BM é um atributo biológico sensível, capaz de detectar alterações no solo antes das mudanças nos atributos químicos. Utilizando o C-BM como indicador de qualidade do solo, conclue-se que o SPD oferece melhores condições de cultivo do que as AMM.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto "Sistema Plantio Direto – Base para uma agricultura sustentável", empresa Expertise France (EF), Grupo AFD, FEBRAPDP, CAPES, ao presidente da FEBRAPDP, Jônadan Ma, e ao pesquisador e coordenador geral do projeto João Carlos de Moraes Sá, por viabilizarem o estudo.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, R. D. Estoques de carbono e biomassa microbiana de um Latossolo cultivado com soja sob inoculação fúngica. **Agri-environmental Sciences**, v. 9, n. 1, p. 13-17, 2023.

ANZALONE, R. A.; VEZZANI, F. M.; KASCHUK, G.; HUNGRIA, M.; VARGAS, L. K.; NOGUEIRA, M. A. Establishing reference values for soil microbial biomass-C in agroecosystems in the Atlantic Forest Biome in Southern Brazil. Elsevier, **Ecological Indicators**, 117, n. 106586, 2020.

BERTOL, I.; DE MARIA, L. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L., MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.13, n.1, e5501, 2018.

CHAVEIRO, A. C. E.; BONINI, C. dos S. B.; FREITAS, P. G. N.; REIS, D. C. de S.; OLIVEIRA, J. M. K. de.; SOUZA, J. A. L. de.; HIDALGO, G. F.; OLIVEIRA, A. B. de. Soil physical and chemical quality on no tillage cultivated with vegetables – A review. **Research, Society and Development**, *[S. l.]*, v. 11, n. 9, p. e32711931564, 2022.

DENARDIN, J. E.; D'AGOSTIN, L. R. Qualidade do manejo do solo. **Embrapa Trigo**, 2019.

DENARDIN, J. E; KOCHHANN, R. A; FAGANELLO, A; COGO N, P. Agricultura conservacionista no Brasil: Uma análise do conceito à adoção. *In:* LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa; p. 23- 41, 2014.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2023**.Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, FAO, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Índice de Insegurança alimentar**. 2024.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, n.1, p. 1-13, 2010

OLIVEIRA, J. P. C. de *et al*. Inappropriate land use and its impacts on the degradation of areas. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e35101219948, 2021.

SILVA, J. P.; FERREIRA, L. A importação e adaptação do sistema de plantio direto no Brasil: Implementação desde os anos 1960. **Cadernos de Agricultura e Meio Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 200-215, 2023.

SOFI. **Estado da Insegurança Alimentar Mundial**. FAO. Mapa da fome da ONU. 2024.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. **Boletim Técnico n. 5, UFRGS**, 1995.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO CERRADO

Jair Augusto Zanon[1*], Renato Marques[2], Leonardo de Marino Treml[3], Janaina Gabriela Larsen[4]
[1, 3, 4] Pesquisador, Universidade Federal do Paraná; [2] Professor, Universidade Federal do Paraná.

RESUMO

Diversos atributos microbiológicos do solo se destacam por sua sensibilidade às mudanças ambientais e podem ser usados como indicadores de alterações nos ecossistemas. No entanto, ainda há uma lacuna de conhecimento sobre pesquisas em vários ecossistemas florestais. O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos químicos e microbiológicos do solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado. Foram realizadas as análises de fertilidade química do solo e os parâmetros microbiológicos: nitrogênio mineralizado (NMIN), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2). Os resultados mostram que os atributos microbiológicos do solo são influenciados pelas classes de solo, assim como pelas diferentes fitofisionomias do Cerrado.

PALAVRAS-CHAVE: atividade microbiológica; floresta estacional decidual; carbono da biomassa microbiana.

INTRODUÇÃO

O Cerrado abrange cerca de 24% da superfície total do Brasil (IBGE, 2012). Entre as principais fitofisionomias que compõem este ecossistema, destacam-se a Savana Arborizada (SA), a Savana Florestada (SF) e a Floresta Estacional Decidual (FED) (Lima, 2018). As fisionomias vegetais são decorrentes de características edáficas no solo, e retornam ao solo através da serapilheira, e conforme a composição florística pode influenciar os atributos microbiológicos (Treml *et al*., 2022). Portanto, os atributos microbiológicos do solo podem ser influenciados por fatores edáficos, vegetação e manejo do solo (Ritz *et al*., 2009). A hipótese deste estudo é que os atributos microbiológicos do solo são influenciados pelos atributos químicos resultantes da classe de solo, bem como pelas fisionomias vegetais. O objetivo foi avaliar os atributos microbiológicos do solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas estão localizadas nas coordenadas 12º22’ sul e 44º55’ oeste, município de São Desidério, estado da Bahia; clima tropical com verões quentes e úmidos, do tipo Aw, de acordo com Köppen (1936), com precipitações anuais em torno de 750 mm e temperatura média anual de 25 ºC. A região está situada em uma transição entre fisionomias vegetais identificadas como Savana Arborizada, Savana Florestada e Floresta Estacional Decidual (Treml *et al*., 2022). Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho na área savânica (SA e SF), e Cambissolo na área florestal (FED). Foi delineado um transecto, dividido em 12 parcelas, e posteriormente agrupadas conforme similaridade da fitofisionomia, com os seguintes grupos: grupo I (Savana Arborizada); grupo II (Floresta Estacional Decidual); e grupo III (Savana Florestada).Na Tabela 1 estão detalhados as médias dos atributos químicos do solo dos grupos I, II e III da camada 0-10 cm.

O nitrogênio mineralizado acumulado (NMIN) foi determinado por incubação a 30 ºC por 75 dias, com extrações por KCl (2 mol L^{-1}) a cada 15 dias. Foram determinados o $N\text{-}NH_4$ e o $N\text{-}NO_3$, respectivamente, pelo método do fenol e por espectrofotometria de ultravioleta com redução pela adição de zinco metálico (Apha, 1995; Heinzmann *et al*., 1984). O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi obtido por irradiação em um forno de micro-ondas, pós o procedimento de irradiação, foram adicionados a todos os frascos K_2SO_4 0,5 mol L^{-1} (Vance *et al*., 1987), e determinado em analisador TOC Cube, marca Elementar. A respiração basal microbiana (RBS) foi realizada por incubação durante 10 dias, com captura de $C\text{-}CO_2$ por NaOH, e titulação com HCl (0,5 M). O quociente metabólico (qCO_2) foi calculado pela razão entre respiração basal e por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo.

Os resultados dos atributos microbiológicos do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software RStudio (R Development Core Team, 2019).

Tabela 1. Média dos atributos químicos do solo na profundidade 0-10 cm, nos grupos I, II e III, localizadas no município de São Desidério, Bahia.

Grupo	pH	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	V	P	N	C
	$CaCl_2$	----------$cmol_c\ dm^{-3}$----------				%	mg kg^{-1}	---g kg^{-1}---	
I	4,74	0,03	3,23	0,25	0,53	58,2	9,31	0,54	5,65
II	5,31	0,04	7,20	0,65	1,88	76,6	14,56	1,37	15,25
III	4,40	0,14	2,97	0,24	0,57	51,6	10,25	0,90	9,33

Notas: pH CaCl2 0,01 M; Al3+ trocável, Ca2+ e Mg2+ extraídos por KCl 1M, K+ e P disponíveis extraídos por Mehlich I, (H+ + Al3+) por acetato de cálcio 0,5 M a pH 7,0, e carbono e nitrogênio por combustão total no analisador elementar, Elementar Vario EL III.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, o NMIN mostrou diferença significativa em todas as extrações, com destaque para os valores do grupo II (Floresta Estacional Decidual) (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de nitrogênio mineralizado acumulado (NMIN), na profundidade 0-10 cm, nos grupos I, II e III.

Dias de incubação	Grupo I	Grupo II	Grupo III
	NMIN (mg kg^{-1} solo)		
0	4,7a	7,6b	5,1a
15	10,6a	16,5b	11,3a
30	16,0a	26,9b	18,4a
45	18,4a	30,3b	21,4a
60	20,0a	33,2b	23,4a
75	22,1a	36,5b	26,2a

Grupo II = Floresta Estacional Decidual. Grupo III = Savana Florestada. Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5 %. ns = não significativo.

Estudos de mineralização do nitrogênio em ecossistemas do Brasil, mostraram comportamento similar (Gonçalves *et al*., 2001; Yagi *et al*., 2009). A maior proporção de N mineralizado ocorre nos períodos iniciais, 15 a 30 dias após a incubação, e posteriormente a tendência é de estabilidade, condição que está associada à mineralização da parte mais lábil da MOS nos períodos iniciais. O grupo II, formado por parcelas de Floresta Estacional Decidual, foi significativamente superior em relação às savanas Arborizada e Florestada. Ao final do ensaio, os teores de N mineral acumulado variaram entre 22 e 36 mg N kg^{-1} solo. Estes resultados estão de acordo com o estudo de López-Poma *et al*. (2020), que na camada superficial do solo encontraram média de 28 mg kg^{-1} solo, em áreas de Cerrado nativo do estado de São Paulo.

No solo sob FED foram obtidos os maiores valores médios de N mineralizado, indicando influência das características dessa vegetação, por meio da ciclagem de nutrientes, sobre a atividade microbiológica no solo, quando comparada às áreas de savana (López-Poma *et al*., 2020; Treml *et al*., 2022). É importante observar que nas áreas de FED o solo também apresentou maior fertilidade química do que nas áreas savânicas. Ou seja, trata-se de um ciclo onde um solo originalmente mais fértil propiciou uma vegetação mais rica em nutrientes e que retorna uma serapilheira de melhor qualidade nutricional; e que favorece a atividade microbiana.

O carbono da biomassa microbiana mostrou comportamento semelhante ao N mineralizado acumulado, com maiores valores para o grupo II (Floresta Estacional Decidual), com valor médio de 772 mg C kg-$^{-1}$ solo; enquanto para os grupos I e III os valores foram 332 e 398 mg C kg^{-1} solo, respectivamente. Assim como ocorreu com NMIN e CBM, o grupo II também obteve os maiores valores médios para RBS. O qCO_2 foi o único atributo microbiológico do solo que não mostrou diferenças significativas entre as diferentes fitofisionomias (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios do carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2), na profundidade 0-10 cm, nos grupos I, II e III.

Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo I	Grupo II	Grupo III
CBM (mg C kg^{-1} solo)			RBS (mg C-CO_2 kg^{-1} solo h^{-1})			qCO_2 (mg C-CO_2 g^{-1} CBM h^{-1})		
323,49a	772,60b	398,10a	1,21a	2,17b	1,94b	3,80ns	3,77ns	5,29ns

Grupo II = Floresta Estacional Decidual. Grupo III = Savana Florestada. Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5 %. ns = não significativo.

Os resultados obtidos foram similares a outros estudos realizados em vegetação de Cerrado (Aragão *et al*., 2020; Silva *et al*., 2010). Silva *et al*. (2010) encontraram valores médios de 900 mg C kg^{-1} solo na camada 0-10 cm em Cerrado nativo no centro-sul de minas gerais, sendo valores notadamente maiores quando comparados a outros sistemas de uso do solo no Cerrado como, por exemplo, em sistemas agrícolas. Parte dos resultados foi atribuída à deposição de resíduos orgânicos e grande quantidade de raízes oriundas da FED do Cerrado, o que resultou em maior umidade retida no solo e, consequentemente, estimulou a manutenção e a atividade da microbiota do solo (Chen e Xiao, 2023). Para a RBS foram encontrados valores médios de 2,5 mg C-CO_2 kg^{-1} solo h^{-1}, semelhantes aos resultados encontrados por Silva *et al*. (2010).

No estudo de Treml *et al*. (2022), foi relatado que as fitofisionomias destas áreas tinham indicativos de relação com fatores abióticos e pedogenéticos; e os resultados aqui obtidos mostraram que a microbiologia do solo tende a ter relação direta com a vegetação e com os fatores edáficos, oriundos das classes de solo. Os resultados, do presente trabalho indicam que os maiores valores para os atributos microbiológicos se associaram principalmente com as parcelas de Floresta Estacional Decidual, em função do maior aporte de nutrientes no sentido FED>SF>SA.

CONCLUSÕES

Os atributos microbiológicos são influenciados tanto pela classe de solo quanto pela composição florística dos grupos de ecótonos de Cerrado.

As áreas de Floresta Estacional Decidual, Savana Florestada e Savana Arborizada foram diferenciadas pelos atributos: NMIN, CBM e RBS.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão do auxílio financeiro. Ao Leonardo Treml pelas coletas de campo e caracterização da vegetação.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington: APHA, 1995.

ARAGÃO, O. B. S.; OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; CAPUTO, P. S. C.; RUFINI, M.; CARVALHO, G. R.; CARVALHO, T. S.; MOREIRA, F. M. S. Microbiological indicators of soil quality are related to greater coffee yield in the Brazilian Cerrado region. **Ecological Indicators**, v. 113, n. 1, p. 106205, 2020.

CHEN, C.; XIAO, W. The global positive effect of phosphorus addition on soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 176, p. 108882, 2023.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 601-616, 2001.

HEINZMANN, F. X.; MIYAZAVA, M.; PAVAN, M. A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, n. 1, p. 159-163, 1984.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. *In:* Koppen, W; Gieger, R. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebruder Borntrager, 1936. p. 1-44.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

LIMA, E. M. **Variação florístico-estrutural em duas pedossequências, em áreas de Cerrado, município de Formosa – Goiás**. 91 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2018.

LÓPEZ-POMA, R.; PIVELLO, V. R.; BRITO, G. S.; BAUTISTA, S. Impact of the conversion of Brazilian woodland savanna (cerradão) to pasture and Eucalyptus plantations on soil nitrogen mineralization. **Science of the Total Environment**, v. 704, n. 1, p. 135397, 2020.

RITZ, K.; BLACK, H. I. J.; CAMPBELL, C. D.; HARRIS, J. A.; WOOD, C. Selecting biological indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. **Ecological Indicators**, v. 9, p. 1212-1221, 2009.

SILVA, R. S.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

TREML, L. M.; CATTARIN, A.; MARQUES, R.; GALVÃO, F.; CRIVELLARI, L. B.; COUTINHO, V. M. Floristic similarity in a forest-savannah ecotone in western Bahia state, Brazil. **Floresta**, v. 52, n. 4, p. 475-483, 2022.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 1, p. 703-707, 1987.

YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; BARBOSA, J. C. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 385-394, 2009.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

SISTEMA AGROFLORESTAL BIODIVERSO, MANEJO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL DO SOLO NO LITORAL PARANAENSE

João Roberto Navarro [1], Fabiane Machado Vezzani [2], Renato Marques[3]
[1]Estudante de Pós graduação da UFPR /Doutorado *joaonavarro80@gmail.com.; [2] Professora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS; [3]Professor da Universidade Federal do Paraná - UFPR.

RESUMO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) biodiversos se destacam como uma abordagem agrícola sustentável, pois seu manejo favorece a biodiversidade e a adição de matéria orgânica ao solo. O estudo realizado no munícipio de Morretes/PR, avaliou os solos do manejo agroflorestal biodiverso em relação a um fragmento de Mata Atlântica Nativa adjacente. Foram analisados o Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana, a Respiração Basal do Solo, o quociente metabólico, o pH, o carbono orgânico total e os macronutrientes do solo. Os resultados indicaram que esse manejo é ambientalmente sustentável, pois mantém os níveis de carbono no solo, reduz a acidez do solo e mantém os macronutrientes ao solo em ambiente de Mata Atlântica, além de possuir uma semelhança no comportamento na atividade microbiológica. Assim, os SAFs biodiversos preservam as condições do solo, demonstrando ser um manejo adequado para a sustentabilidade do solo no Litoral Paranaense.

PALAVRAS-CHAVE: produção de alimentos; solos; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O estado do Paraná se destacou como um dos que mais desmatou a Mata Atlântica no Brasil entre 2020 e 2021. De acordo com o relatório anual da SOS Mata Atlântica (2021), houve um aumento de 66% no desmatamento em comparação ao período anterior, resultado do crescimento da agropecuária em pequenas propriedades. Segundo (Nunes *et al*., 2020) esse modelo convencional de produção agrícola tem contribuído para a degradação dos solos a longo prazo e se persistir, os solos ainda produtivos poderão se tornar improdutivos em até 60 anos. FAO (2015).

Pesquisas estão sendo realizadas sobre sistemas mais sustentáveis que apresentam alta diversidade de espécies, como os sistemas agroflorestais biodiversos (SAFs). Esses sistemas são caracterizados pela diversidade do cultivo de plantas lenhosas perenes em conjunto com culturas agrícolas e forrageiras, em uma única unidade de manejo (MAPA, 2011).

Pesquisas sobre esses sistemas têm sido realizadas globalmente, promovendo práticas de conservação e evidenciando um impacto positivo na qualidade do solo. Estudos conduzidos por Zhang *et al*. (2022), Chuckwu *et al*. (2023) e Leu *et al*. (2023), em diversos ecossistemas, demonstraram que áreas cultivadas com árvores em consórcio com arbustos, a qualidade do solo foi superior em relação a áreas agrícolas ou de pastagem. Portanto este estudo tem como objetivo investigar se o manejo agroflorestal biodiverso adotado na bacia litorânea do estado do Paraná é sustentável pela forma como é conduzido. A análise busca confirmar se o sistema agroflorestal biodiverso, implementado em área menores, representa uma alternativa sustentável de manejo agrícola para região, evitando a abertura de novas áreas de Mata Atlântica.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Morretes, na Planície Litorânea do Estado do Paraná, região pertencente ao bioma Mata Atlântica, este composto por diversos ecossistemas de alta biodiversidade.

Foi selecionada uma área de Mata Nativa (Mata Atlântica) adjacente a área de um agricultor familiar com a presença de sistema agroflorestal (SAFs) biodiverso com idade de 8 a 11 anos de manejo, com o cultivo

de árvores Nativas da Mata Atlântica em conjunto com árvores frutíferas em linha, o qual o manejo neste local são podas frequentes dessas espécies e incorporação do material ao solo. E na Entrelinha o cultivo de alimentos em sistema de consórcio com adubação verde e espécies com alto rendimento de massa seca, para a produção de material orgânico. Os solos do estudo são CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Típico.

Foram escolhidos seis pontos aleatórios, na Linha de árvores dos SAFs (L), na entrelinha dos SAFs (EL), e no fragmento de Mata Nativa (M), para a obtenção das amostras de solo, nas camadas 0 a 5 cm e 5 a 10 cm de profundidade.

Para a determinação do carbono (BMS-C) e nitrogênio (BMS-N) da biomassa microbiana foi utilizada a metodologia descrita em Ferreira *et al*. (1999) sendo os dados determinados em Analisador Elementar vario TOC cube, onde o cálculo do carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana do solo foi obtido pela diferença da amostra irradiada e o da amostra não irradiada, utilizando o fator de correção 0,33 para o Carbono e 0,54 para o Nitrogênio (De-Polli e Guerra, 2008). Para a avaliação da respiração basal do solo (RBS) e o quociente metabólico (qCO_2) foi utilizada a metodologia por incubação descrita em Silva *et al*. (2007). Os atributos químicos do solo, foram analisados conforme metodologia descrita em Marques e Motta (2003).

O delineamento experimental é inteiramente ao acaso e os dados correspondentes foram analisados no software Past. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre a Linha SAFs (L), a entrelinha do SAFs e Mata Nativa (M), aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p<0,05$), a fim de identificar o contraste entre as médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido ao aporte de material orgânico ao solo proveniente das podas dos SAFs houve uma redução na acidez do solo devido ao aumento dos níveis de pH ($CaCl_2$) e menor toxidez pelo Al^{+3} observados na Linha e Entrelinha Agroflorestal quando comparado à Mata Nativa, nas duas camadas de solo (Tabela 1). Estudos de Butterly *et al*. (2021) demostraram o mesmo efeito no alívio da acidez do solo com a aplicação do resíduo ao solo, principalmente com a utilização de leguminosas.

Os valores de carbono total do solo foram mantidos na linha e entrelinha do SAF em relação a Mata Nativa, observado pela não significância entre os dados, demonstrando que os SAFs mantêm o carbono do solo. Segundo Steinfield *et al*. (2023) a cobertura morta ao solo promove estímulos na formação de estoques de carbono ao solo.

Os elementos Ca^{+2} e Mg^{+2} na Linha e Entrelinha na camada superficial foram abaixo da Mata Nativa, porém considerados médio, segundo Pauletti e Motta (2020) e na camada mais profunda um aumento expressivo para o elemento Ca^{+2} na Linha. O elemento fósforo (P) abaixo da Mata Nativa, porém considerados em nível alto em ambientes florestais. Segundo Steinfield *et al*. (2023) à complexidade dos sistemas agroflorestais favorece uma maior ciclagem de nutrientes e possuem potencial para aumentar os teores dos elementos no solo (Tabela 1).

Em relação aos níveis de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, na entrelinha SAF ficaram em níveis intermediários em comparação a Linha SAF e à Mata Nativa, possivelmente pela frequência de plantio durante o ano para a produção de alimentos e o tipo de material vegetal incorporado ao solo, pois estudos de Singh *et al*. (2023), observaram estoques distintos de biomassa microbiana em ambiente florestal e em locais de conversão para sistemas agroflorestais, o qual o material orgânico influenciou na composição da microbiota e no teor de C e N do solo, Ferreira *et al*., 2024 mencionaram que quando há decomposição de resíduos com alta relação C/N há predominância de fungos e baixa ocorrência de bactérias e em resíduos de baixa relação C/N as bactérias são abundantes, os quais possuem um crescimento populacional maior em relação aos fungos. Além das raízes que são distintas em ambientes diversificados, pois estudos de Schmidt *et al*. (2024), comparando a microbiologia em zonas agroecológicas, monocultivo e sistemas agroflorestais com cacau em Gana, indicaram que as características da raiz influenciaram na comunidade microbiana do

solo com variações na população microbiana. Já na Linha SAF por receber maior quantidade de material lignificado pelas podas dos galhos das espécies arbóreas presentes, os fungos podem estar em maioria, justificando os valores mais baixos de C e N, pois há semelhança na atividade biológica com a Entrelinha.

Tabela 1. Atributos químicos nas duas camadas do solo (0-5 e 5-10 cm).

Local	pH	P	K^{ns}	Ca	Mg	Al^{3+}	H + Al	C^{ns}
	$CaCl_2$ 1N	mg/dm³			(cmol/dm³)			g/dm3
				0 - 5 cm				
Mata Nativa	3,94b	9,44a	0,16a	4,29a	1,79a	0,76a	9,3a	41,9
Linha	4,69a	6,18c	0,09b	1,77b	1,07b	0,40b	5,0b	41,2
Entrelinha	4,53a	7,48b	0,10b	1,22b	0,68b	0,49b	6,0b	41,0
				5 - 10 cm				
Mata Nativa	3,96b	4,96b	0,09	1,4b	0,36c	1,43a	29,3a	42,8a
Linha	4,55a	3,33c	0,15	3,41a	1,17a	0,62b	18,8b	43,8a
Entrelinha	4,52a	5,18a	0,11	0,94b	0,57b	0,59b	18,8b	37,7b

***letras minúsculas diferença entre os tratamentos dentro de cada camada de profundidade; ns –não significativo.**

Outro fato é que o manejo agroflorestal biodiverso mantém a atividade microbiológica ativa em relação a Mata Nativa, principalmente na Linha SAFs por apresentar consumo de CO_2 semelhante observados pelos valores de qCO_2 (Tabela 2).

Tabela 2. Carbono (BMS-C) e nitrogênio (BMS-N) da biomassa microbiana do solo, Respiração Basal (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) nas camadas 0 a 5 cm e 5 a 10 cm.

Local de Amostragem	BMS-C	BMS-N	RBS	qCO_2
		0 - 5 cm		
	mg / kg de solo		mg C-CO_2/kg/h	
Mata nativa	417,28a	8,09a	0,35a	0,0008a
Linha	220,81c	1,39b	0,19b	0,0009a
EntreLinha	271,09b	8,04a	0,16b	0,0006b
		5 - 10 cm		
	mg / kg de solo		mg C-CO_2/kg/h	
Mata nativa	359,32	12,25a	0,31a	0,0009a
Linha	188,32	3,39c	0,13b	0,0007a
EntreLinha	242,18	7,10b	0,12b	0,0005b

***letras minúsculas diferença entre os locais de amostragem dentro de cada camada de profundidade; ns –não significativo**

CONCLUSÕES

Os sistemas agroflorestais biodiversos praticado no Litoral Paranaense promovem a sustentabilidade ambiental, pois promovem a manutenção das condições dos solos por meio do seu manejo.

É uma prática agrícola que alia a produção de alimentos e a conservação dos recursos naturais, o qual podem servir para políticas públicas em ambientes de fragilidade ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a Universidade Federal do Paraná, a Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo incentivo financeiro e os agricultores familiares que promovem a sustentabilidade ambiental pelas suas práticas.

BIBLIOGRAFIA

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INPE. Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica. Relatório Técnico. 2021. São Paulo.

BUTTERLY. C.R.; WANG. X.; SALE . P.; LI.G.; TANG. C. Liming effect of non-legume residues promotes the biological amelioration of soil acidity via nitrate uptake. Plant Soil. 2021. 464(1):63-73.

CHUKWU, E. D.; UDOH, B. T.; AFANGIDE, A. I.; OSISI, A. F. Evaluation of soil quality under oil palm cultivation in a coastal plain sands area of Akwa Ibom State Nigeria. S*oil Security.* 2023.

DE-POLLI, H & GUERRA, J. G. M. C. N e P na biomassa microbiana do solo. *In:* SANTOS, G de A.; CAMARGO, F, A, O. Fundamento da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole. 2008. 263-273p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Status of the World's Soil researcher (Main Report). Natural Researcher and Environment Department. Intergovernmental Technical panel on Soils (ITPS), Rome. Italy. 2015.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F, A, O.; VIDOR, C. Utilização de microondas para a avaliação da biomassa microbiana do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 1999,23:991-996.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa n° 46, de 06 de Outubro de 2011– elaboração. Brasília, Diário Oficial da República Federativa Brasil.

LEUL, Y.; ASSEN, M.; DAMENE, S & ÇEGASS, A. Effects os land use types on soil quality dynamiccs in a tropical sub-humid ecosystem, western Ethiopia. *Ecological Indicators*. 2023.

MARQUES, R. & MOTTA, A. C. V. Análise química do solo para fins de fertilidade. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba. 2003. 81-102p.

NUNES, M. R.; KARLEN, D. L.; VEUM, K. S & MOORMAN, T. B. A SMAF assessment U.S tillage and crop management strategies. Environmental and Sustainability Indicators. 2020

PAULETTI, V & MOTTA, A. C. V. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. 1. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR. 2017.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P. H. S. & POLL, H. Determinação da respiração basal e quociente metabólico do solo. Comunicado técnico 99 EMBRAPA. Brasília. 2007.

STEINFIELD, P, J. *et al*. Increasing complexity of agroforestry systems benefits nutrient cycling and mineral-associated organic carbon storage, in south-eastern Brazil. Geoderma. 2023.

SING, A., CHOUDHURY,U, B., BALUSAMY, A., SAHOO, K, U. Restoring the inventory of biomass and soil carbon in abandoned croplands: An agroflorestry system approach in India'a eastern Himalayas. Agriculture, Ecossystems and Enviroment. 2023.

SCHIMDT, J.; ADDO-DANSO, S.; ASARE, R.; TETTEY, A.; ISAAC, M, E. Soil quality reflects microbial research availability and drives rhizosphere microbiome variation in Ghanaian cocoa farms. Applied Soil Ecology 2024.

SIQUEIRA, G, M.; FIORELLI, C, E.; SANTOS, P, W.; MACHADO, B, C.; VIEIRA, S, A.; SOUZA, P, S.; SCHLINDWEIN, A, J. Biomassa microbiana e carbono orgânico do solo sob diferentes manejos e sucessão de culturas. 2021. Cap 8. 126-138p.

ZHANG, Z.; HAN, J.; YIN, H.; XUE, J.; JIA, L.; ZHEN, X.; CHANG, J.; WANG, S. & YU, B. Assessing the effects os different long-term ecological engineering enclosures on soil quality in na alpine desert grassland area. *Ecological Indicators.* 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DO CONSÓRCIO DE FORRAGEIRAS SOB ADUBAÇÃO COM LODO DE ESGOTO TRATADO NA RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO

Mayara Scibor Amaral[1*], Isabelle Ferreira de Freitas[2], Kleber Henrique Cabrini Junior[3], Bruna Ramalho[4], Marcos Antonio Dolinski[5]

[1,2,3] Estudante de graduação do curso de Agronomia na Universidade Tuiuti do Paraná (Curitiba, PR) *mayarascibor@gmail.com, [4,5]Professor do curso de Agronomia na Universidade Tuiuti do Paraná (Curitiba, PR)

RESUMO

O lodo de esgoto é um resíduo gerado pelo de tratamento de esgoto, rico em matéria orgânica e nutrientes, porém sua destinação vem sendo um problema para as cidades. Assim, o objetivo foi avaliar o potencial de uso do lodo tratado (18 ton ha^{-1} tratado em dois sistemas de produção: monocultivo de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) e consórcio entre milheto (*Penisetum, glaucum*) e aveia preta (*Avena strigosa* S.). O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Pé da Serra em São José dos Pinhais-PR, em delineamento experimental de blocos com quatro repetições. Sendo: T1 (milheto em consórcio com aveia preta sem lodo de esgoto), T2 (milheto em consórcio com aveia preta com lodo de esgoto), T3 (monocultivo de amendoim forrageiro sem lodo de esgoto) e T4 (monocultivo amendoim forrageiro com lodo de esgoto). Durante o período de experimento não foi possível identificar diferença significativa entre as variáveis, julga-se que este fato pelo curto período experimental.

PALAVRAS-CHAVE: adubação; biossólido; respiração microbiana do solo.

INTRODUÇÃO

O setor agrícola é uma das atividades mais importantes da economia do Brasil, e o país é um dos maiores produtores de alimento no mundo, com isso, a nossa demanda por fertilizantes é alta e sabe-se que em sua maioria estes insumos são importados, e vem de fontes naturais não renováveis. Portanto, a busca por adubações alternativas vem sendo objeto de estudo e com grandes perspectivas para o futuro. O lodo de esgoto possui grande potencial agronômico devido sua fonte de macro e micronutrientes ao solo e alto teor de matéria orgânica, podendo ser utilizado como adubo em algumas culturas (Bettiol & Fernandes, 2004).

A disposição do lodo de esgoto como adubação é uma das alternativas de melhor viabilidade, no entanto, deve-se atentar ao risco de contaminação por metais pesados e patógenos (Pedrosa *et al*., 2017). O lodo passa por diversos tratamentos a fim de minimizar estes riscos, depois de tratado é classificado de acordo com os seus componentes pela Norma Brasileira (NBR 10.004), e segue uma legislação vigente para seu uso, a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, que "define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados e dá outras providências" (Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama, 2006).

A aplicação de lodo de esgoto na recuperação de solos degradados, associada ao consórcio de plantas de cobertura do solo, tem demonstrado resultados promissores, especialmente em sistemas consorciados. Esses sistemas promovem a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo por meio da diversificação de culturas, grupos funcionais e sistemas radiculares, além da incorporação de matéria orgânica. Em contraste, o monocultivo tende a limitar esses benefícios, comprometendo a sustentabilidade e a eficiência produtiva (Kitamura, 2008). Ademais, as vantagens da consorciação entre leguminosas e gramíneas está a produção de resíduo vegetal que auxilia na descompactação do solo, mantem uma relação C:N equilibrada, o que acarreta fornecimento de nitrogênio e proteção do solo (Giacomini *et al*. 2003).

A qualidade do solo é um fator de extrema importância para a sua utilização e conservação, e, segundo Araújo e Monteiro (2007) uma das formas de mensurar a qualidade do solo é por meio de indicadores biológicos, principalmente por microrganismos que desempenham funções essenciais para manutenção da qualidade do solo. Com isso, se tem como técnica a avaliação da respiração do solo, que se refere à oxidação biológica do material orgânico a dióxido de carbono (CO_2), resultado dos processos de microrganismos aeróbios, e que é um método muito utilizado para quantificar a atividade microbiana do solo, em diversos sistemas de manejo e de teores de matéria orgânica.

Diante disso, se tem por objetivo neste estudo avaliar o efeito do uso de sistemas de produção de monocultivo de amendoim forrageiro e consórcio entre milheto e aveia preta, e da adubação alternativa com lodo de esgoto tratado na respiração microbiana do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na Fazenda Pé de Serra, pertencente a Universidade Tuiuti do Paraná, localizada em São José dos Pinhais-PR sob as coordenadas 25°43'17,16"S e 49°6'30,75"O. A área encontra-se em uma região de clima Cfb de acordo com a classificação climática de Köppen subtropical úmido (Alvares et., 2013), com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18º (mesotérmico), e com verões frescos; e temperatura média no mês mais quente abaixo de 22º e precipitação pluviométrica anual de 1.630 mm, sob um Cambissolo Háplico Tb Distrófico.

O experimento iniciou em fevereiro de 2022 em esquema fatorial 2x2 sendo: i) dois sistemas de produção implantados (com objetivos de avaliar cobertura de solo): cultivo solteiro de amendoim forrageiro (*Arochis pintoi*), e consórcio de milheto (*Pennisetum glaucum*) + aveia preta (*Avena strigosa S*.), e ii) duas doses de lodo de esgoto tratado: 0 e 18 ton ha^{-1}, o qual foi fornecido e tratado com cal hidratada pela estação de tratamento de esgoto da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. A partir do teor de nitrogênio nesse resíduo e da necessidade desse elemento pela cultura do milheto foram realizados os cálculos de recomendação de adubação do lodo de esgoto, com a aplicação de 4 kg do biossólido para cada parcela, que também recebeu uma suplementação nitrogenada com 45 g ureia (65 kg N ha^{-1}) distribuídas a lanço juntamente com o lodo. Nas demais parcelas, sem a aplicação do biossólido, foi realizada a adubação química de acordo com a exigência nutricional do milheto pelo Manual de Calagem e Adubação para o Estado do Paraná (Pauletti & Motta, 2017), com a aplicação de 90 g de uréia (130 kg N ha^{-1}), 21,3 g de cloreto de potássio (55 kg K_2O ha^{-1}) e 67,5 g de superfosfato simples (60 kg P_2O_5 ha^{-1}), que foram distribuídos à lanço em cada parcela.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas de 9 m^2, subdivididas em 4 subparcelas de 2,25 m^2. As parcelas foram numeradas de 1 a 4 (R1, R2, R3 e R4) e os tratamentos foram determinadas através de sorteio: T1 (milheto em consórcio com aveia preta sem lodo de esgoto), T2 (milheto em consórcio com aveia preta com lodo de esgoto), T3 (monocultivo de amendoim forrageiro sem lodo de esgoto) e T4 (monocultivo amendoim forrageiro com lodo de esgoto).

Para a análise de respiração basal do solo foram coletadas cerca de 3 subamostras de cada parcela, a uma profundidade de 0-10cm, e então gerada uma amostra composta que foi posteriormente levada ao laboratório. A respiração basal microbiana do solo foi determinada seguindo metodologia proposta por Jenkinson & Powlson (1976), com adaptações.

Os dados foram submetidos à análise de variância e interpretação por análise descritiva comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 5\%$) com o uso dos softwares Sisvar e Microsoft Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de respiração basal não possibilitou a identificação de diferença significativa ($p < 0,05$) entre as variáveis analisadas, não obstante do sistema de produção e da dose de lodo de esgoto utilizada (Tabela

1). Acredita-se que este fato se dá pelo curto período experimental, de aproximadamente de 90 dias, e também aos fatores climáticos no que se refere a um longo período de estiagem durante o desenvolvimento das culturas implantadas.

Tabela 1. Respiração basal do solo (RBS) cultivado sob diferentes sistemas de produção (monocultivo e consórcio) e diferentes doses de lodo de esgoto (0 e 18 ton ha^{-1}).

	Dose lodo de esgoto (ton ha^{-1})	Respiração microbiana C-CO_2 mg kg^{-1} h^{-1}	
Monocultivo	0	13,60	Aa[1]
	18	13,15	Aa
Consórcio	0	14,35	Aa
	18	13,20	Aa

Nota: monocultivo = amendoim forrageiro; consórcio = milheto + aveia preta.

[1]Letras maiúsculas na coluna comparam as diferentes doses de lodo de esgoto, dentro do mesmo sistema de produção. Letras minúsculas na coluna comparam os diferentes sistemas de produção, dentro da mesma dose de lodo de esgoto (teste de Tukey a 5%).

Segundo Riberski (2022), em trabalho realizado na mesma área de estudo, com a mesma dosagem de lodo de esgoto em sistemas de produção de plantio solteiro de milheto e consórcio de milheto com amendoim forrageiro, foram analisadas as concentrações de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas frações da matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica humificada (MOH). A autora observou um aumento nas concentrações e estoques de COT e NT na camada 0-20 cm do solo, nos dois sistemas de produção com a utilização do lodo de esgoto, bem como, um incremento dos elementos na fração física da MOH. Embora no presente trabalho não tenha sido analisado o teor de carbono na MOP e MOH se sabe que como consequência do aumento dos teores de carbono no solo, há um aumento na atividade microbiana do mesmo, pois as transformações do carbono no solo são realizadas por meio da atuação de fungos e bactérias, caracterizados como decompositores primários (Andreote & Cardoso, 2016).

O lodo de esgoto tratado após adicionado ao solo pode ser utilizado como reserva e fonte de nutrientes tanto para o solo e plantas quanto para os microrganismos, que necessitam destes para desempenhar suas funções de decomposição dos materiais orgânicos e moléculas químicas (Andréa & Pettinelli, 2000). O consórcio de plantas de cobertura promove diversidade vegetal, exploração de camadas profundas do solo, ciclagem de nutrientes, redução da erosão e temperatura, além de melhorar os teores de carbono e a relação C/N, resultando em ganhos físicos, químicos e biológicos ao solo (Wruck *et al*., 2020).

De modo geral, embora a ausência de resultados significativos no presente trabalho, destaca-se a importância do contínuo estudo sobre o tema, visto que na literatura citada foram encontrados resultados satisfatórios com experimentos mais longos, acima de três anos de duração, doses mais altas e aplicações intercaladas com as práticas de cultivo, o que comprova a viabilidade do uso do lodo de esgoto como fertilizante e condicionador de solo em larga escala, principalmente em recuperação de áreas degradadas e cultivos florestais.

CONCLUSÕES

Durante o período analisado de 90 dias não foi possível observar diferença significativa na respiração basal do solo entre os sistemas de produção de monocultivo e consórcio, tampouco no efeito da aplicação do lodo de esgoto tratado. Mas vale ressaltar que esse biossólido tem sido considerado uma boa alternativa na associação com fertilizantes químicos, portanto, deve-se continuar as avaliações com sua utilização na

área em estudo, assim como o constante estudo sobre as relações entre plantas e ambiente no manejo de consórcio.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES; C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M., & SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische zeitschrift, 22(6), 711-728. 2013.

ANDRÉA; M. M. & PETTINELLI Jr., A. Efeito de aplicações de pesticidas sobre a biomassa e a respiração de microrganismos de solos. Arq. Inst. Biol., v. 67, p. 223-228, 2000.

ANDREOTE; F. D., & CARDOSO, E. J. B. N. Introdução à biologia do solo. Microbiologia do solo, 221-il. 2016.

BETTIOL; W. & FERNANDES, S. A. P. **Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2004. 5p. (Comunicado Técnico, 24).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Conama). **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. 2006.

GIACOMINI; S. J., AITA, C., VENDRUSCOLO, E. R. O., CUBILLA, M., NICOLOSO, R. S., & FRIES, M. R. **Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27, 325-334. 2003.

JENKINSON; D.S. & POWLSON, D.S**. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. Soil Biol.** Biochem., 8:167-177, 1976

KITAMURA, A. E., ALVES, M. C., SUZUKI, L. G. A. S., & PAZ GONZALEZ, A. **Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32, 405-416. 2008.

PAULETTI, V; MOTTA, A. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2ª Edição. 2017. 289 p. Curitiba.

PEDROSA *et al.*, 2017. BETTIOL; W; FERNANDES; S. A. P.; CERRI, C. C. **Efeito do lodo de esgoto na atividade microbiana do solo.** *In:* BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 207-226.

RIBERSKI; K. T. V. **Frações físicas da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de produção e lodo de esgoto**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação (Ciências Biológicas). Curitiba, 2023.

WRUCK; F; PEDREIRA; B; de OLIVEIRA JUNIOR; O; L; BEHLING NETO; A; DOMICIANO; L; & FLAVIO JESUS WRUCK; C; P; A; M; T. **Integração lavoura-pecuária: consórcios forrageiros na entressafra**. 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CARBONO DA BIOMASSA E RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL

Abraão Huang[1*], Elizabete Monteiro Rodrigues Alves dos Santos[2], Letícia de Pierri[3],
[1]Estudante de graduação, PUCPR; [2]Estudante de graduação, PUCPR; [3]Professora, PUCPR, * huang.abraao@gmail.com

RESUMO

A biomassa microbiana é essencial para a qualidade do solo, participando ativamente da ciclagem de nutrientes. Este estudo avaliou o efeito de adubações orgânicas e minerais na microbiota do solo. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Gralha Azul, onde foram testados cinco tratamentos: testemunha (T1), NPK (T2), esterco (T3), pó de rocha (T4) e biofertilizante líquido (T5). Foi analisada a respiração basal do solo, o carbono da biomassa microbiana e o coeficiente metabólico. Os valores de respiração basal (mg C-CO_2/kg/h) variaram de 0,9673 (T1) a 1,7177 (T3), enquanto o teor de carbono (mg C/kg solo) variou entre 432,9 (T1) e 619,6 (T5). O coeficiente metabólico variou entre 2,1 (T4) e 2,9 (T3). Através da análise estatística (ANOVA e Tukey) concluiu-se que não há diferença estatística em relação aos diferentes tipos de adubação.

PALAVRAS-CHAVE: Microrganismos do solo; Agricultura conservacionista; Ciclagem de nutrientes.

INTRODUÇÃO

O solo é fundamental para os ecossistemas e a produção agropecuária, porém, a degradação tem comprometido suas propriedades. Estima-se que 40% das terras cultivadas no mundo sofreram redução da capacidade produtiva devido a ações antrópicas intensivas. Diante disso, a qualidade do solo tornou-se uma preocupação global (TÓTOLA *et al*., 2002).

A microbiota do solo é altamente diversa, sendo os principais as bactérias, actinomicetos, fungos, algas e protozoários, que representam de 1 a 4% do carbono total e ocupam menos de 5% do espaço poroso do solo. A biomassa microbiana, composta principalmente por bactérias e fungos respondem por cerca de 90% da atividade microbiana do solo, mediando a formação e estabilização dos agregados do solo, integrando-se à definição de “matéria orgânica do solo” (BALD *et al*., 2021).

A biomassa microbiana é essencial para a qualidade do solo, pois atua na mineralização e imobilização de nutrientes da matéria orgânica, contribuindo diretamente para a ciclagem de nutrientes. Além disso, é utilizada como indicador biológico da sustentabilidade dos sistemas de produção, sendo avaliada por meio da determinação do carbono e da respiração dos microrganismos (PEREZ *et al*., 2004; SANTOS, 2016), e tendo relação direta com o manejo da adubação do solo.

A hipótese deste trabalho é que a adubação orgânica promova maior desenvolvimento microbiano do solo em comparação com a adubação mineral. Dessa maneira, o presente trabalho possui o objetivo de avaliar a influência de diferentes tipos de adubação orgânica e mineral sobre a atividade da microbiota do solo, a partir da avaliação do carbono da biomassa, respiração microbiana do solo e do coeficiente metabólico.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo foi coletado na Fazenda Experimental Gralha Azul (FEGA), em Fazenda Rio Grande, Paraná (25° 39’ 31’’ S, 49° 18’ 32’’ W, 911 m de altitude), na Mesorregião Metropolitana de Curitiba, cujo clima é Cfb, com verões amenos, precipitação anual de 1.100 a 2.000 mm e geadas severas (CIDADE BRASIL, 2022). Coletado com enxada e pá em área de Floresta Ombrófila Mista até 20 cm de profundidade, o solo foi levado ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da PUCPR e foi armazenado em vaso de 11 litros por uma semana, período necessário para a realização da análise da capacidade de campo. Foram definidos cinco

tratamentos com quatro repetições: T1- testemunha, T2- NPK, T3- esterco sólido bovino, T4- pó de rocha e T5- biofertilizante líquido.

A quantidade de fertilizantes para cada tratamento foi definida com base no teor de potássio disponível, conforme a composição química descrita por Malavolta (1980) para adubação em vaso. O potássio foi escolhido como parâmetro por estar presente em todos os fertilizantes avaliados. Com base nos cálculos a partir da composição dos diferentes materiais, definiram-se as quantidades de fertilizante para cada tratamento (Tabela 1).

Tabela 1. Quantidade de fertilizantes a serem aplicados em cada tratamento por vaso.

	TRATAMENTO	QUANTIDADES/VASO		
T1	TESTEMUNHA		0	
T2	NPK[1]	N 0,166g	K 0,150g	P 0,588g
T3	ESTERCO SÓLIDO BOVINO[2]		6,8g	
T4	PÓ DE ROCHA[3]		10,57g	
T5	BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO[4]		20,45ml	

Fonte: Os Autores (2024). [1]Ureia, supersimples e KCl; [2]13,2 kg/t de K_2O; [3]pó de basalto (1% K_20); [4]biofertilizante líquido de composteira doméstica (4,4 g/L de K_2O).

Aproximadamente 270 gramas de solo foram adicionados aos vasos de 0,5 dm³ juntamente com os respectivos adubos, deixando-os incubados por uma semana, mantendo a umidade do solo em 70% da umidade em capacidade de campo (Ucc). O delineamento empregado foi o inteiramente casualizado (DIC).

O carbono da biomassa microbiana do solo foi determinado pelo método da fumigação-extração de Vance *et a.*. (1987) e a respiração pelo método de Alef (1995). Em ambos, fez-se necessário a definição da Ucc do solo pelo método do tubo (MT) permitindo a posterior correção da umidade para 70% da Ucc.

Os valores obtidos com a titulação do carbono da respiração microbiana do solo (respiração basal do solo - RBS) foram submetidos à seguinte fórmula descrita por Stotzky (1965):

$$\mathrm{RBS} = \{[(b - a)\ \mathrm{x}\ \mathrm{N}\ \mathrm{x}\ \mathrm{E}\ \mathrm{x}\ 1.000]/g*\}/h$$

Onde: RBS - respiração basal do solo (C-CO_2 mg/kg/h); b - volume de HCl gasto na prova em branco; a - volume de HCl gasto na amostra; E - equivalente do carbono (sendo 22); N - normalidade do HCl (sendo igual à 0,5 N); g - massa de solo seco; h: horas de incubação.

A partir dos resultados obtidos com a titulação do carbono da biomassa, foram feitos os cálculos através da fórmula de Walkley e Black (1934):

$$\mathrm{C\ (mg\ C\ kg\ ^(-1)\ solo)} = ((\mathrm{Vb} - \mathrm{Va})\ .\ \mathrm{M}\ .0{,}003\ .\ \mathrm{V1}\ .10\text{^}6)/\ \mathrm{Ps}\ .\ \mathrm{V2}$$

Onde: Vb - Volume sulfato ferroso gasto no branco; Va - Volume sulfato ferroso gasto na amostra; M - Molaridade sulfato ferroso amoniacal (mol/L); V1 - Volume extrator (K_2SO_4); V2 - Volume pipetado p/ titulação; M - Miliequivalente do C; os - Massa de solo seco.

Com os resultados da respiração basal e do carbono da biomassa microbiana do solo calculou-se o coeficiente metabólico da biomassa microbiana que se dá a partir da divisão das variáveis respiração basal e carbono da biomassa microbiana do solo, como está representado na equação:

$$\mathrm{qCO_2} = (\mathrm{C} - \mathrm{CO_2}\ /\ \mathrm{C} - \mathrm{BMS})\ /\ 1000$$

Onde: qCO_2 - coeficiente metabólico da biomassa microbiana do solo (µg C-CO_2/µg C-BMS/h); C-CO_2 - respiração basal do solo (µg); C-BMS/h - carbono da biomassa microbiana do solo (µg).

Os resultados de respiração basal, carbono da biomassa microbiana e coeficiente metabólico passaram por testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, que confirmaram distribuição normal e variações homogêneas. Assim, aplicou-se ANOVA e teste de Tukey com 95% de confiança, usando o programa Assistat.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a análise de variância (ANOVA) para respiração basal, carbono da biomassa microbiana e coeficiente metabólico revelou p-valor maior que 0,05, aceitando-se H0 (médias iguais). Assim, não houve diferença significativa entre os cinco tratamentos avaliados (Tabela 2).

Tabela 2. Médias dos resultados de respiração microbiana, carbono da biomassa microbiana e coeficiente metabólico de um solo nativo submetido a diferentes fontes de fertilizantes orgânicos e minerais.

Tratamento	Respiração microbiana ($C\text{-}CO_2$ (mg/kg/h))		Teor de C da biomassa microbiana (mg C/kg solo)		qCO_2 (µg $C\text{-}CO_2$/µg C-BMS/h)	
Controle	0,97	ns	432,87	ns	2,34	ns
NPK	1,44	ns	474,02	ns	2,83	ns
Esterco	1,72	ns	591,56	ns	2,94	ns
Pó de rocha	1,08	ns	527,44	ns	2,08	ns
Biofertilizante líquido	1,58	ns	619,63	ns	2,55	ns

Fonte: Os autores (2024).

Apesar da ausência de diferença estatística, estudos como o de Júnior *et al. (*2003) indicam que o teor de carbono da biomassa microbiana obtido está dentro dos valores médios esperados. O mesmo se observa na respiração microbiana e no coeficiente metabólico, conforme verificado por Silva *et al.* (2012).

A ausência de diferença estatística entre os tratamentos pode ser atribuída à alta quantidade natural de microrganismos no solo florestal, conforme observado por Assis Júnior *et al*. (2003), em comparação a solos de monocultivos e desmatados. Dessa forma, os adubos minerais e orgânicos não influenciaram significativamente a atividade microbiana. Além disso, como a biomassa microbiana utiliza a matéria orgânica como fonte de energia e nutrientes, sua atividade reflete a quantidade de matéria orgânica presente no solo (SCHMIDT *et al.*., 2013). Assim, a elevada quantidade de matéria orgânica de solos florestais, provavelmente reduziu o impacto das adubações, corroborando os resultados obtidos.

Embora não tenha sido observada diferença na microbiota do solo, Pires (2008) destaca que a adubação orgânica aumenta sua atividade. Wang (2015) também verificou maior atividade microbiana, intensificação da decomposição de resíduos orgânicos e liberação gradual de nutrientes em solos adubados organicamente. No entanto, Theodoro *et al*. (2007), ao analisar a atividade microbiana em lavouras cafeeiras com diferentes manejos, não encontrou diferenças na biomassa microbiana, o que corrobora os dados deste experimento.

Os fertilizantes industriais oferecem rápida disponibilidade de nutrientes e impactam diretamente a nutrição vegetal. Em contraste, adubos orgânicos melhoram as propriedades do solo, promovendo a mineralização de nutrientes, a formação de agregados e o aumento da atividade microbiana. Outro ponto a ser destacado é o grande consumo de fertilizantes pelo Brasil sendo o quarto maior consumidor de fertilizantes NPK do mundo, porém, produz apenas 2% do total mundial, o que gera uma dependência de importações, correspondendo a 70% do consumo nacional (INFOMONEY, 2022). Em contrapartida, a compostagem de resíduos orgânicos, amplamente disponíveis no país, oferece uma alternativa viável para a produção agropecuária brasileira.

CONCLUSÕES

Os diferentes tipos de adubação orgânica - esterco e biofertilizante líquido – e adubação mineral - pó de rocha e NPK - não interferem na atividade microbiana de solos nativos com alto teor de matéria orgânica.

BIBLIOGRAFIA

ALEF, K. Estimation of soil respiration. Disponível em: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in soil microbiology and biochemistry.** New York: Academic, 1995. p. 464-470.

BALD, D. R.; RANGEL, C. P.; VARGAS, A.; GIRÃO, K. T.; PASSAGLIA, L. M. P. Microbiota do solo: a diversidade invisível e a sua importância. **Bio Diverso**, v.1, n.1, 2021.

CIDADE BRASIL. **O município de Fazenda Rio Grande.** Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-fazenda-rio-grande.html> Acesso em: 19 abr. 2024.

INFOMONEY. **Guerra na ucrânia expõe dependência brasileira por fertilizantes importados**. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/mercados/guerra-na-ucrania-expoe-dependencia-brasileira-por-fertilizantes-importados/> Acesso em: 21 fev. 2025.

ASSIS JÚNIOR, S. L. A. J. *et al*. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore,** v.27, n.1, p.35-41, 2003.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas.** 1. Ed. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 2006. 629 p.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 567–573, 2004.

PIRES, A. A. *et al*. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro-amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p.1997- 2005, 2008.

SANTOS, G. R. dos. Respiração microbiana do solo relacionada ao conteúdo de água no solo e a temperatura do solo, na época do Equinócio de primavera, em Olho D'Água do Casado, Semiárido de Alagoas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 885–893, 2016.

SCHMIDT, R. O.; SANA, R. S.; LEAL. F. K.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O.; MEURER, E. J. Biomassa e atividade microbiana do solo em sistemas de produção olerícola orgânica e convencional. **Ciência Rural**, v. 43, n. 2, p. 270-276, 2013.

SILVA, C. F *et al*. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1680-1689, 2012.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-C). **Comunicado Técnico** (CNPAB), ISSN: 1517-8862, 2007.

STOTZKY, G. Microbial respiration. *In:* BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, 1965. v.2. p.1550-1570.

THEODORO, V. C. A. Atividade microbiana em lavoura cafeeira na transição agroecológica. Lavras: UFLA, 2007. **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Anais. Brasília - Café, 2007.

TOTOLA, M.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.2, p. 195-276,2002.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n. 6, p. 703-707, 1987.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.

WANG, J.; WANG, X.; XU, M.; FENG, G.; ZHANG, W.; YANG, X.; HUANG, S. Contributions of wheat and maize residues to soil organic carbon under long-term rotation in north China. **Nature**, 11409, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE TERRACEAMENTO SOBRE A ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

Ana Samily de Oliveira Souza[1*], Camila Aparecida da Silva[2], Amanda Eustachio Pereira[3], Edneia Aparecida de Souza Paccola[4], Francielli Gasparotto[4]

[1]Mestranda em Tecnologias Limpas, PPGTL, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. *anasamily07@gmail.com. [2]Acadêmica do Curso de Agronomia, Campus Maringá/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Bolsista ICETI-Fundação Araucária. [3]Doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, PR, Brasil. Bolsista CAPES. [4]Prof. Dra. do Curso de Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Universidade Cesumar – Unicesumar, PR, Brasil. Pesquisadora e Bolsista Produtividade em Pesquisa do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI).

RESUMO

O uso de práticas sustentáveis na gestão do solo ajuda a preservá-lo ao manter sua estrutura, conservar água, reduzir a erosão e as variações de temperatura, além de melhorar sua qualidade. Este estudo visou avaliar a atividade das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase em solo tipo Argissolo Vermelho distrófico em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, com e sem terraceamento. A área de estudo foi dividida em duas megaparcelas de 2,0 ha, uma com terraceamento (CT) e outra sem (ST). Foram coletadas 32 amostras de solo em cada megaparcela, na camada de 0 a 10 cm, e levadas ao laboratório para análise da atividade das enzimas. Os resultados foram submetidos ao teste de homogeneidade e análise de variância pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. A atividade da enzima arilsulfatase foi maior na área CT, em contrapartida, os maiores valores de β-glicosidase foram detectados na área ST.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do solo; sustentabilidade agrícola; bioindicadores.

INTRODUÇÃO

O solo, composto por minerais, água, ar, matéria orgânica e organismos vivos, é essencial para a sustentabilidade de plantas, animais e humanos. Sua qualidade resulta de interações complexas entre esses componentes. A biota do solo regula processos vitais, como decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, degradação de poluentes e agregação do solo, fundamentais para o funcionamento do ecossistema (Leal *et al.*, 2021).

A adoção de tecnologias sustentáveis no manejo do solo contribui para sua conservação, mantendo sua estrutura, conservando água, reduzindo a erosão e variações de temperatura, além de melhorar sua qualidade (Montenegro *et al.*, 2020).

O terraceamento agrícola, uma prática comum entre agricultores brasileiros, distribui terraços nas propriedades considerando características pluviométricas e de relevo da região. No entanto, a recente retirada de terraços em áreas de cana-de-açúcar no Paraná e outras regiões pode afetar negativamente as características físicas e químicas do solo, além da população microbiana, reduzindo sua qualidade (Back *et al.*, 2021).

Monitorar a atividade enzimática entre microrganismos do solo e culturas agrícolas é uma alternativa para avaliar mudanças na qualidade do solo. Em áreas cultivadas com a cana-de-açúcar, esse monitoramento pode ser realizado por meio da atividade das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase, que regulam o catabolismo biológico de componentes orgânicos e minerais do solo (Mendes *et al.*, 2019).

Portanto, é essencial realizar estudos que avaliem as mudanças na população microbiana do solo devido a alterações nas práticas de manejo, como a remoção de terraços, em áreas de cana-de-açúcar. Esses estudos são fundamentais para avaliar a qualidade do solo e promover a sustentabilidade da produção agrícola dessa cultura. Assim, objetivou-se avaliar a atividade das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase em solo tipo Argissolo Vermelho Distrófico em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, com e sem terraceamento.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada no município de Presidente Castelo Branco-PR, mesorregião do Noroeste do Paraná, sob as coordenadas 23º11'29.4''S e 52º05'59.0''W. O solo desta área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico, e há cerca de 13 anos é realizado o cultivo de cana-de-açúcar por um grupo produtor de açúcar e álcool da região. O plantio atual foi realizado mecanicamente há 5 anos com a variedade RB8675151, e a colheita é feita sem queima, também de forma mecanizada. A área de estudo foi dividida em duas megaparcelas de 2,0 ha em que, a Megaparcela I (CT) possui o emprego de práticas mecânicas de controle do escoamento (com terraços em nível); já a Megaparcela II, não possui terraços (ST), representando a ausência de práticas mecânicas de controle do escoamento.

Realizou-se uma amostragem de solo no mês de dezembro, dois meses após a colheita da cana, por meio da coleta de 32 pontos distintos em cada megaparcela, na camada de 0 a 10 cm com uso de trado holandês, totalizando 64 amostras, distribuídos em grid e georreferenciados. As amostras foram embaladas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório de análises agronômicas – AgroLab – UniCesumar. As amostras foram acondicionadas em geladeira até o momento das análises.

As atividades das enzimas Arilsulfatase e β-glicosidase foram determinadas de acordo com Tabatabai (1994) e Dick *et al.* (1996), respectivamente. Os resultados de cada parâmetro avaliado foram submetidos ao teste de homogeneidade e à análise de variância, verificando-se a significância, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observaram-se diferenças significativas entre os valores médios de arilsulfatase e β-glicosidase nas áreas CT e ST (Tabela 1).

Tabela 1. Atividade das enzimas Arilsulfatase (µg p-nitrofenol g^{-1} solo $hora^{-1}$) e β-glicosidase (µg p-nitrofenol g^{-1} solo $hora^{-1}$) na profundidade de 0-10 cm em solo tipo Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com cana-de-açúcar em áreas com e sem terraços no município de Presidente Castelo Branco-PR.

SISTEMA	ARILSULFATASE	β-GLICOSIDASE
CT	27,19 a	46,91 b
ST	14,25 b	57,75 a
CV%	40,64	12,36

Fonte: Os autores, 2025.
Os valores seguidos de letras diferentes, entre as linhas, indicam diferenças entre os tratamentos a partir do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A arilsulfatase foi 52,4% superior na megaparcela CT, em comparação com os resultados obtidos na megaparcela ST. Este valor de acordo com Mendes *et al.* (2018) pode ser considerado como moderado em Latossolos Vermelhos argilosos de cerrado, sob cultivos anuais em plantio direto, na camada de 0 cm a 10 cm, no período chuvoso. Ainda segundo os autores, o valor de 14,25 µg p-nitrofenol g^{-1} solo $hora^{-1}$ obtido na área ST é considera baixo.

Miguel *et al.* (2020) afirma que a atividade desta enzima pode estar relacionada ao nível de matéria orgânica no solo, às variações de umidade e temperatura do solo, o que estaria de acordo com o observado neste estudo, com valor maior na megaparcela CT. Segundo os pesquisadores, enzimas envolvidas na

degradação de substratos específicos atuam de acordo com a disponibilidade desses substratos, ou seja, quanto maior disponibilidade, maior a atividade.

Em concordância, Balota *et al.* (2013) sugeriram que a atividade enzimática pode aumentar devido à deficiência de nutrientes ou à forma em que eles se apresentam no solo, e que a presença dessa enzima nos solos está associada à biomassa microbiana e ao nível de imobilização. Por outro lado, McGill e Colle (1981) afirmaram que uma quantidade significativa de arilsulfatase presente nos solos é produzida por bactérias em resposta à falta de matéria orgânica.

Já para a β-glicosidase observou-se o contrário, com valor 18,77% maior na megaparcela ST, em relação à megaparcela CT. Porém, em ambas as áreas o valor para esta enzima pode ser considerado como baixo, pois segundo Mendes *et al.* (2018) valores iguais ou abaixo de 90 µg p-nitrofenol g^{-1} solo $hora^{-1}$ expressam baixa atividade da enzima. A atuação da β-glicosidase está diretamente relacionada a ciclagem do carbono, sendo responsável pela quebra direta das ligações carbônicas da matéria orgânica, assim, quanto maior o teor de matéria orgânica maior será a atividade enzimática (Shi *et al.*, 2021; Fuhrmann e Zuberer, 2021).

De acordo com Pawlowski *et al.* (2024) a atividade da β-glicosidase pode estar intimamente relacionada com os teores de Carbono Orgânico, Nitrogênio total e Zinco no solo, enquanto a ação da Arilsulfatase está associada com Manganês, Cálcio e Magnésio. Os autores afirmam que essas associações não necessariamente indicam uma relação causal direta entre a atividade enzimática e as propriedades químicas do solo. Em vez disso, elas provavelmente refletem um cenário em que a qualidade geral do solo, resultante do manejo, influencia tanto os níveis de nutrientes e matéria orgânica quanto a atividade biológica.

Em solos do tipo Latossolo Vermelho distrófico as enzimas arilsulfatase e β-glicosidase, juntas ou separadamente, foram os indicadores mais sensíveis para detectar alterações no solo em função do sistema de manejo (Mendes *et al.*, 2019). Para as condições avaliadas nesta pesquisa, verificou-se alterações nos valores das enzimas nas megaparcelas CT e ST, sendo necessário o acompanhamento por um período maior visando verificar a interferência da retirada de terraços em áreas de produção de cana sobre a atividade enzimática do solo.

CONCLUSÕES

A atividade da enzima arilsulfatase foi maior na área CT, em contrapartida, os maiores valores de β-glicosidase foram detectados na área ST.

Destaca-se que é necessário realizar mais estudos a longo prazo para avaliar as alterações desencadeadas ao longo do tempo pela retirada de terraços de áreas agrícolas. Isso permitirá um entendimento mais abrangente dos impactos das práticas de manejo sobre a saúde do solo e a eficiência dos processos biológicos envolvidos na ciclagem de nutrientes.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária / Seti-Pr / Senar-Pr e ao Instituto Cesumar de Ciência Tecnologia e Inovação – ICETI/UNICESUMAR pela concessão de bolsa de estudo e suporte financeiro para a condução da pesquisa. E a CAPES pela concessão de bolsa de doutorado.

BIBLIOGRAFIA

BACK, A. J.; GARCEZ, J. G.; WILDNER, L. do P.; BASSANI, M. H.; GOLIN, A. S. O reconhecimento do terraceamento como prática de agricultura conservacionista em Santa Catarina, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 119048–119066, 2021.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, p. 221–278, 2013.

DICK, R.P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. *In:* DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. **Methods for assessing soil quality.** Madison, SSSA, p.247-271, 1997.

FUHRMANN, J. J.; ZUBERER, D. A. Carbon transformations and soil organic matter formation. *In:* **Principles and Applications of Soil Microbiology**. Elsevier, p.327-361, 2021.

LEAL, M. L. A.; CHAVES, J. S.; SILVA, J. A.; SILVA, L. S.; SOARES, R. B.; NASCIMENTO, J. P. S.; MATOS, S. M.; JUNIOR, D. L. T.; NETO, A. F. B. Effect of management systems and land use on the population of soil microorganisms. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e21910917966, 2021.

MCGILL, W. B.; COLE, C. V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. **Geoderma**, v. 26, n. 4, p. 267–286, 1981.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. M.; SOUSA, D. M. G.; LOPES, A. A. C.; JUNIOR, F. B. R.; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85–93, 2019.

MENDES, I. C. SOUSA, D. M. G.; JUNIOR, B. R.; LOPES, A. A. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. [s. l.], 2018.

MIGUEL, D. L.; SILVA, E. M. R.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; LEITE, L. F. C. Soil microbiological properties and enzyme activity in agroforestry systems compared with monoculture, natural regeneration, and native caatinga. **Bioscience Journal**, v. 1, p. 16, 2020.

MONTENEGRO, A. A. A.; LOPES, L.; ALMEIDA, T. A. B.; LIMA, J. L. M. P.; MONTENEGRO, H. G. L. A.; ARAÚJO, B. G. Impacto de métodos naturais para conservação de água e solo no semiárido brasileiro. **FAVE Sección Ciencias Agrarias**, v. 19, n. 2, 2020.

PAWLOWSKI, E.; SOBUCKI, L.; BARBOSA, J. G. P.; HANDTE, V. G.; VIEIRA, I. B.; BRUNETTO, G.; MENDES, I. C.; JACQUES, R. J. S. Relationships between yield, enzymatic activity, and chemical properties across different soil layers and phenological stages of grapevines in southern Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 204, 2024.

SHI, W.; ZHAO, H.; CHEN, Y.; WANG, J.; HAN, B.; LI, C.; LU, J.; ZHANG, L. Organic manure rather than phosphorus fertilization primarily determined asymbiotic nitrogen fixation rate and the stability of diazotrophic community in an upland red soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 319, p. 107535, 2021.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 34. P. 225-229, 1970.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATRIBUTOS MICROBIANOS DO SOLO EM ÁREA CULTIVADA COM CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM TERRAÇOS

João Pedro Pena Jezualdo[1], Camila Aparecida da Silva[1], Ana Samily de Oliveira Souza[2], Edneia Aparecida de Souza Paccola[3], Francielli Gasparotto[3]

[1]Acadêmico do Curso de Agronomia, Campus Maringá/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Bolsista ICETI-Fundação Araucária. [2]Mestranda em Tecnologias Limpas, PPGTL, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. [3]Prof. Dra. do Curso de Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Universidade Cesumar – Unicesumar, PR, Brasil. Pesquisadora e Bolsista Produtividade em Pesquisa do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI).

RESUMO

Objetivou-se avaliar indicadores microbiológicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar submetidas ou não ao sistema de terraceamento. A pesquisa foi realizada em Presidente Castelo Branco-PR. A área foi dividida em duas megaparcelas de 2,0 ha cada, uma com terraços (CT) e a outra sem (ST). Realizou-se uma amostragem de solo em 32 pontos distintos por megaparcela, na camada de 0 a 10 cm. As amostras foram transportadas para o laboratório onde quantificou-se o teor de carbono da biomassa microbiana, a respiração basal do solo e quociente metabólico. Os resultados foram submetidos ao teste de homogeneidade e à análise de variância pelo teste de Scott-Knott a 5%. Os teores de C-BMS foram significativamente maiores na área CT, assim como a RBS, porém não se verificou diferenças significativas quanto ao teor de qCO_2, indicando maior presença de microrganismos na área CT e um ambiente mais estável.

INTRODUÇÃO

A adoção de tecnologias sustentáveis no manejo do solo contribui com sua preservação. O emprego de práticas conservacionistas mantém a estrutura do solo, conserva a água no solo, reduz os riscos de erosão e flutuações na temperatura, além de melhorar a qualidade do solo (BUSARI *et al*., 2015). Em geral, as técnicas de conservação do solo podem ser divididas em duas categorias: a conservação biológica e, a conservação mecânica.

O terraceamento agrícola é a prática mecânica de controle da erosão mais difundida entre os agricultores brasileiros. É uma técnica que objetiva a distribuição de terraços nas propriedades agrícolas, levando em consideração as características pluviométricas da região, tais como quantidade, duração e intensidade, e as características do relevo, tais como a rugosidade do terreno, permeabilidade, e profundidade do solo. As práticas de manejo agrícola, como plantio direto, plantio convencional e cultivo mínimo também interferem na escolha do terraço (Machado; Wadt, 2017).

Porém, nos últimos anos vem se observando a retirada de terraços em áreas produtivas de cana-de-açúcar no Estado Paraná e em outras regiões brasileiras. Esta modificação no manejo do solo pode impactar não só nas características físicas e químicas, mas também na população microbiana dos solos, implicando na redução da qualidade do solo. Avaliar a qualidade do solo é mais complexo do que a qualidade do ar e da água, não só por conta dos constituintes do solo, mas porque o solo pode ser usado para uma variedade de propósitos. Os solos geralmente reagem lentamente as mudanças no uso da terra e manejo, dessa forma, torna-se mais difícil detectar mudanças na qualidade do solo antes de danos mais severos (Bünemann *et al*., 2018).

Uma alternativa para monitorar estas alterações se dá por meio do acompanhamento dos microrganismos do solo, que são ótimos indicadores microbiológicos da qualidade do solo e podem ser mensurados pelos teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, que representam a fração viva da matéria orgânica do solo, atuando como um reservatório de nutrientes para as plantas (Perez; Ramos;

Mcmanus, 2005). Também podem ser avaliados os parâmetros da respiração basal do solo e quociente metabólico, em que é possível avaliar a eficiência do metabolismo dos microrganismos durante a degradação e ciclagem da matéria orgânica (Gonçalves *et al*., 2019).

Portanto, é crucial realizar estudos que avaliem as alterações na população de microrganismos do solo resultantes de mudanças nas práticas de manejo, como a remoção de terraços, em áreas agrícolas dedicadas ao cultivo de cana-de-açúcar. Esses estudos são fundamentais para avaliar a saúde do solo, garantir a qualidade do solo e promover a sustentabilidade da produção agrícola de cana-de-açúcar.

Assim objetivou-se avaliar os indicadores microbiológicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar submetidas ou não ao sistema de terraceamento.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada no município de Presidente Castelo Branco-PR, mesorregião do Noroeste do Paraná, sob as coordenadas 23º11’29.4’’S e 52º05’59.0’’W. O solo desta área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico, e há cerca de 13 anos é realizado o cultivo de cana-de-açúcar por um grupo produtor de açúcar e álcool da região. O plantio atual foi realizado mecanicamente há 5 anos com a variedade RB8675151, e a colheita é feita sem queima, também de forma mecanizada. A área de estudo foi dividida em duas megaparcelas de 2,0 ha em que, a Megaparcela I (CT) possui o emprego de práticas mecânicas de controle do escoamento (com terraços em nível); já a Megaparcela II, não possui terraços (ST), representando a ausência de práticas mecânicas de controle do escoamento.

Realizou-se uma amostragem de solo no mês de dezembro por meio da coleta de 32 pontos distintos em cada megaparcela, na camada de 0 a 10 cm, totalizando 64 amostras, distribuídos em grid e georreferenciados. As amostras foram embaladas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório de análises agronômicas – AgroLab - UniCesumar para processamento.

Os seguintes atributos biológicos das amostras de solo foram analisados: carbono da biomassa microbiana (C-BMS) (VANCE *et al*., 1987); respiração basal e quociente metabólico (SILVA *et al*., 2007). Os resultados foram submetidos ao teste de homogeneidade e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que houve diferença significativa para o teor de CBMS entre a área com terraço e sem terraço. A área com terraço apresentou maior teor de CBMS com cerca de 170,54 mg de C kg solo^{-1}, alcançando mais que o dobro do que os teores detectados na área sem terraço (Figura 1).

O valor do C-BMS obtido neste estudo na megaparcela CT, é próximo ao encontrado por Andrade (2020), que obteve cerca de 201,42 mg de C kg^{-1} em seu estudo de cultivo com cana-de-açúcar em comparação com área de mata. A presença de diferenças nas médias de CBMS entre os sistemas CT e ST indica maior atividade microbiológica e maior potencial de ciclagem de nutrientes na área CT.

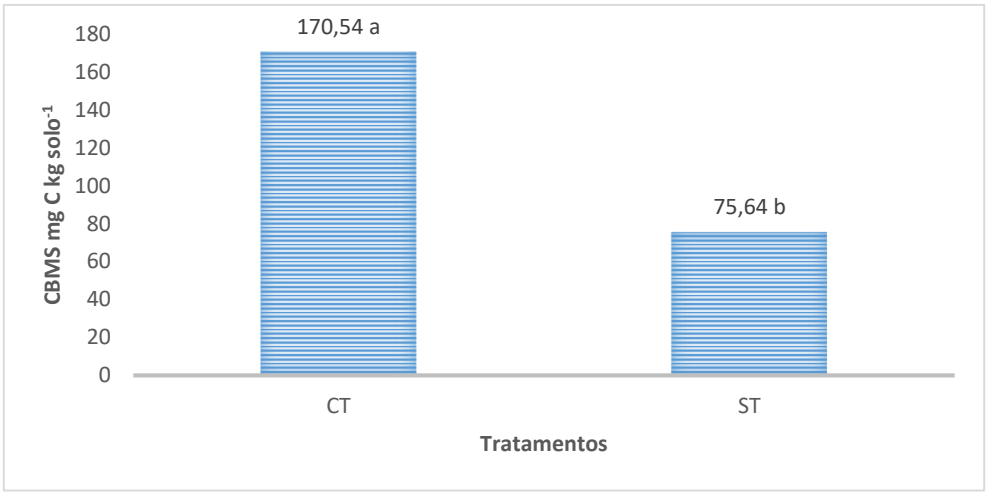


Figura 01. Valores médios de carbono da biomassa microbiana do solo (mg de CBMS kg solo^{-1}) na profundidade de 0-10 cm em área de cultivo de cana com terraços (CT) e sem terraços (ST).

Quanto a RBS, houve diferença significativa entre a área CT e ST, sendo que a respiração foi significativamente maior na CT. Para o qCO_2 não houve diferença significativa entre as áreas, mas a CT apresentou uma tendência de redução para este parâmetro (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de respiração basal do solo- RBS (mg de C-CO2 kg^{-1} solo h^{-1}) e quociente metabólico (mg qCO_2g^{-1} CBM h^{-1}) na profundidade de 0-10 cm em área de cultivo de cana com terraços (CT) e sem terraço (ST).

SISTEMA[1]	**RBS**	**qCO_2**
CT	0,46 a	3,44 a
ST	0,32 b	7,09 a
CV%	32,40	41,32

*Os valores seguidos de letras diferentes, entre as linhas, indicam diferenças entre os tratamentos a partir do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A RBS é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO_2 é produzido via decomposição da matéria orgânica (Oliveira, 2017). No estudo realizado por Ferreira (2017), a RBS em área de cana foi de 0,42 mg de C-CO_2 kg^{-1} solo h^{-1}, e 0,50 mg de C-CO_2 kg^{-1} solo h^{-1} em área de mata que é um ambiente mais equilibrado, ou seja, quando comparado com este estudo, a RBS da megaparcela CT apresenta valores condizentes com o esperado para a cultura de cana. Ressalta-se que a maior taxa de RBS na área CT está diretamente relacionada com maior população microbiana de acordo os valores de CBMS (Figura 1 e Tabela 1).

Já o qCO_2 reflete a relação entre a RBS e o CBMS, em que geralmente, taxas mais altas para este parâmetro são encontradas em ambientes estressantes, onde a biomassa microbiana precisa de mais CO_2 para sobreviver (Ashraf; Waqas; Rahman, 2022). Este fato vai de encontro ao observado neste trabalho, em observou-se uma tendencia de aumento do qCO_2 na ST em relação a CT. Em comparação com o estudo de Ferreira (2017) onde os valores de qCO_2 foram de 2,26 mg C-CO_2 g^{-1} CBM h^{-1} em área de cana a área ST apresenta valores elevados de qCO_2.

CONCLUSÕES

Os teores de C-BMS foram significativamente maiores na área CT, assim como a RBS, porém não se verificou diferenças significativas quanto ao teor de qCO_2, indicando maior presença de microrganismos na área CT e um ambiente mais estável.

Destaca-se que é necessário realizar mais estudos a longo prazo para avaliar as alterações desencadeadas ao longo do tempo pela retirada de terraços de áreas agrícolas. Isso permitirá um entendimento mais abrangente dos impactos das práticas de manejo sobre a saúde do solo e a eficiência dos processos biológicos envolvidos na ciclagem de nutrientes.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária / Seti-Pr / Senar-Pr e ao Instituto Cesumar de Ciência Tecnologia e Inovação – ICETI/UNICESUMAR pela concessão de bolsa de estudo e suporte financeiro para a condução da pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, V. S. *et al*. Respiração e biomassa microbiana em área de cultivo de cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

ASHRAF, M.N.; WAQAS, M.A.; RAHMAN, S. Quociente Metabólico Microbiano é um Indicador Dinâmico da Saúde do Solo: Tendências, Implicações e Perspectivas. Solo da Eurásia Science, v.55, p.1794–1803, 2022.

BÜNEMANN, E. *et al*. Soil quality: A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

BUSARI, M.A. *et al*. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 2, p. 119-129, 2015.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 22-31, 2017.

GONÇALVES, V. A. *et al*. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian**, v. 62, p. 1-8, 2019.

MACHADO, A. P.; WADT, S. G, P. **Boas práticas agrícolas: Terraceamento**. Embrapa Acre-Documentos (INFOTECA-E), 2017. 9 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA E RESPIRAÇÃO BASAL EM ROTAÇÕES DE CULTURAS SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NOS CAMPOS GERAIS-PR

Milena Santos de Oliveira[1*], Dephiny Victoria de Mello Carneiro[2], André Luiz Oliveira de Francisco[3], Josiane Burkner dos Santos[4], Lutécia Beatriz dos Santos Canalli[5]

[1] Estudante de graduação em Agronomia, Unicesumar; [2] Estudante de graduação em Agronomia, Anhanguera; [3] Analista em Ciência e Tecnologia, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR-Paraná; [4] Pesquisadora, Instituto de Desenvolvimento Rural – IDR-Paraná; [5] Pesquisadora, Instituto de Desenvolvimento Rural – IDR-Paraná. *oliveira.milena0401@gmail.com

RESUMO

A rotação de culturas é essencial para a sustentabilidade agrícola, ajudando na conservação do carbono e biodiversidade do solo. O objetivo desse estudo foi avaliar a atividade das enzimas (arilsultase e B-glicosidase) e a respiração basal do solo (RBS) frente as diferentes rotações de culturas em sistema plantio direto (SPD) na Região dos Campos Gerais - Paraná. A atividade da enzima arilsulfatase foi determinada conforme a metodologia de Tabatabai e Bremmer (1970). A atividade da enzima β-glicosidase foi determinada conforme a metodologia de Tabatabai (1982). A RBS foi determinada adaptando-se o método de Jenkinson e Powlson (1976). As rotações I e II apresentaram os menores valores para a RBS, possivelmente devido à falta de diversidade de culturas nessas duas rotações. A atividade das enzimas apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Ambas apresentaram a maior atividade na rotação IV, V e VI enquanto a sucessão e as rotações sem inserção contínua de adubos verdes com os menores valores.

PALAVRAS-CHAVE: atividade enzimática; arilsulfatase; beta-glicosidase.

INTRODUÇÃO

A rotação de culturas constitui uma prática fundamental para a manutenção de sistemas agrícolas sustentáveis, pela contribuição na manutenção dos estoques de carbono e biodiversidade do solo. Esse processo é potencializado pelo uso de plantas de cobertura. Diante disso, é necessário entender as particularidades e impactos que diferentes rotações de culturas causam no solo, quantificando as diversas alterações por meio da atividade da microbiota e da matéria orgânica do solo (MOS). A utilização de ferramentas para identificar e quantificar os principais atores e seus processos no contexto dos sistemas de rotação de culturas é essencial, apresentando-se como indicadores da qualidade do solo.

Para avaliar a qualidade do solo diversos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo, foram determinados (DORAN; PARKIN, 1994). Os indicadores biológicos, como a respiração basal do solo (RBS) e a atividade enzimática, possuem relação com a atividade microbiana, a qual apresenta grande destaque e correlação positiva entre alterações de manejo e os indicadores microbiológicos do solo. Há formas indiretas de medição da biomassa microbiana, sendo a avaliação RBS a mais utilizada, a qual mede a emissão de CO_2 por parte da biomassa microbiana (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006).

As enzimas são essenciais para o metabolismo da microbiota do solo, influenciando suas atividades e comportamento. Como participantes da ciclagem de nutrientes, sua atividade é utilizada como indicador da dinâmica da biota do solo, correlacionando-se com diversos fatores que afetam o solo (BALOTA, 2017). Dentre as enzimas secretadas pelas plantas e pela microbiota do solo, a Arilsulfatase e a B-glicosidase são utilizadas para mensuração de comportamento de manejos e mudanças ambientais no solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

O objetivo desse estudo foi avaliar os indicadores microbiológicos do solo relacionados a atividade das enzimas (arilsultase e B-glicosidase) e a respiração basal do solo, frente as diferentes rotações de culturas em SPD na Região dos Campos Gerais do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em um experimento iniciado em 2017, no Polo Regional de Pesquisa do IDR Paraná, em Ponta Grossa – PR, no entanto as análises das enzimas e da RBS desse trabalho, foi efetuada apenas no último ano do experimento, 2021/22. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em uma testemunha e cinco diferentes opções de rotações de culturas, todas conduzidas sob plantio direto, com as seguintes nominações e a sequência de culturas em 2017/18, 2018/19, 2019/20, 2020/21, 2021/22 respectivamente: Rotação I (testemunha), utilizou-se a sucessão trigo/soja em todos os anos. Rotação II (aveia/milho, trigo/soja, trigo/soja, aveia preta/milho e trigo/soja), Rotação III (canola/milho, trigo/soja, cevada/soja, canola/milho e trigo/soja), Rotação IV (aveia branca/feijão/trigo mourisco, tremoço+ervilha/milho, triticale/soja, tremoço+ervilha/milho e aveia branco/feijão+trigo mourisco), Rotação V (aveia+azevem/milho, aveia+azevem/milho, aveia+azevem/soja, ervilha+centeio+nabo/milho e trigo/ feijão+trigo mourisco), Rotação VI (aveia+ervilhaca+nabo/milho, aveia+centeio+ervilha/feijão/trigo mourisco, triticale+aveia+centeio/soja, aveia+ervilha+nabo/milho e triticale+centeio+ervilha forrageira/ feijão+trigo mourisco).

A atividade da enzima arilsulfatase foi determinada conforme a metodologia de Tabatabai e Bremmer (1970) e Alef e Nannipieri (1995). A amostra de solo (1g) foi incubada por 1 hora a 37ºC com p-nitrofenil sulfato de potássio e tampão acetato. Após a incubação, adicionaram-se cloreto de cálcio e hidróxido de sódio, seguidos de agitação e filtração. A leitura da concentração de p-nitrofenol liberado foi realizada no espectrofotômetro a 400 nm, com base em uma curva padrão de concentrações de 0 a 12 ppm. A atividade da enzima β-glicosidase foi determinada conforme a metodologia de Tabatabai (1982), adaptada por Eivazi e Tabatabai (1988) e Alef e Nannipieri (1995), seguindo o mesmo procedimento da arilsulfatase, com a substituição do substrato por p-nitrofenil β-glicosídeo, solução tampão MUB a pH 6,0 e trishidroxiaminometano no lugar de hidróxido de sódio.

A RBS foi determinada adaptando-se o método de Jenkinson e Powlson (1976). O gás carbônico liberado das amostras de solo (50g) foi captado por hidróxido de sódio 1 M após 7 dias de incubação em recipiente vedado. Após esse período, o hidróxido de sódio foi titulado com ácido clorídrico. Os resultados foram analisados por meio de análise de variância, e as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, as rotações com inserção de adubos verdes apresentaram os maiores valores. O comportamento da RBS é influenciado pela quantidade e qualidade da matéria orgânica adicionada ao sistema. Diversos autores observaram resultados semelhantes com a adição de matéria orgânica, especialmente por meio de adubos verdes ou pela prática de não revolvimento do solo (inserção de palhada no SPD) (BALOTA, 2017; NUNES *et al*., 2018).

As rotações I e II apresentaram os menores valores para a RBS e outros atributos avaliados, possivelmente devido à falta de diversidade de culturas nessas duas rotações. Na rotação II, há uma maior presença de gramíneas na sequência de culturas, as quais possuem uma alta relação C/N, o que reduz a velocidade de decomposição e, consequentemente, a RBS (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BALOTA, 2017). Na rotação I, ocorre também a exaustão do sistema devido ao cultivo contínuo das mesmas culturas, resultando

em pouca diversidade de cultivos, os resultados demonstram que esse tipo de rotação que está mais para a sucessão exaure o solo, com os valores mais baixos das enzimas B-Glicosidase e Arilsulfatase e RBS.

Tabela 1. Atividade das enzimas B-Glicosidase e Arilsulfatase e RBS na safra 2021-22 nas rotações de cultura do experimento.

Rotação	B-Glicosidase	Arilsulfatase	RBS
I (testemunha)	129,47 c	23,35 c	0,61 c
II	130,11 c	32,7 c	0,72 b
III	136,44 c	33,88 c	0,67 bc
IV	161,02 b	39,44 b	0,88 a
V	165,54 b	39,87 b	0,85 a
VI	177,4 a	44,48 a	0,87 a
CV%	19,59	21,07	23,01

Fonte: Os autores. Legenda: Unidade das enzimas Arilsulfatase, B-Glucosidase e Unidade da Respiração. Os valores seguidos de letras diferentes em cada coluna diferem entre si a partir do teste de Tukey com f de 0,05.

A atividade das enzimas B-Glicosidase e Arilsulfatase apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Ambas apresentaram a maior atividade na rotação VI enquanto as rotações sem inserção contínua de adubos verdes (I, II e III) com os menores valores. McDaniel *et al*. (2014) obteve resultados similares aos encontrados nesse experimento, onde a beta glicosidase demonstrou maiores valores nas rotações com mais inclusão de adubos verdes na sequência de cultivos. Os resultados obtidos corroboram os de Acosta-Martinez e Brennan (2018) e Borase *et al*., (2020) que ao modificarem simultaneamente os manejos e as rotações, obtiveram resultados que demonstram que as rotações com adubos verdes e leguminosas promovem o aumento da atividade da enzima beta-glicosidase.

CONCLUSÕES

Os índices de RBS e das enzimas B-Glicosidase e Arilsulfatase tem melhor desempenho em rotações que apresentam maior diversidade de espécies e maior produção de massa e adubos verdes. A rotação VI promoveu melhores resultados em relação as demais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro e ao IDR-Paraná pela infraestrutura, suporte técnico e assistência ao longo deste trabalho. Agradecemos ainda aos orientadores e colegas pelas valiosas trocas de informações, que foram essenciais para o progresso do projeto.

BIBLIOGRAFIA

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil Microbiology and biochemistry**. Academic Press. San Diego: Harcourt Brace e Company, 1995. 576p.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R**. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Mecenas, 2017, p. 288. Disponível em: http://www.editoramecenas.com.br/wp-content/uploads/2017/10/-Sumario-Manejo-e-QualidadeBiol%C3%B3gica-do-Solo.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.

BORASE, D. N.; NATH, C. P.; HAZRA, K. K.; SENTHILKUMAR, M.; SINGH, S. S.; PRAHARAJ, C. S.; SINGH, U.; KUMAR, N. **Long-term impact of diversified crop rotations and nutrient management practices on soil microbial functions and soil enzymes activity**. Ecological Indicators, v. 114, p. 106322, 2020.

BRENNAN, E. B.; ACOSTA-MARTINEZ, V. **Soil microbial biomass and enzyme data after six years of cover crop and compost treatments in organic vegetable production**. Data in brief, v. 21, p. 212-227, 2018.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. *In:* DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, B. A.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. 35. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. **Glucosidases and galactosidases in soils. Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 5, p. 601-606, 1988.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S**. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. Soil biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.

MCDANIEL, M. D.; TIEMANN, L. K.; GRANDY, A. S. **Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. Ecological Applications**, v. 24, n. 3, p. 560-570, 2014.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

NUNES, M. R.; VAN ES, H. M.; SCHINDELBECK, R.; RISTOW, A. J.; RYAN, M. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. Geoderma, v. 328, p. 30-43, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article-/abs/pii/S0016706118300077. Acesso em: 28 fev. 2025.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. ***In:*** **PAGE, A. L. Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties.** Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 903-947.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. **Arylsulfatase activity of soils.** Soil Science Society of America Journal, v. 34, n. 2, p. 225-229, 1970

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO AFETADA PELO USO DOS DEJETOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO MILHO

Jéssica Caroline de Lima[1*], Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa[2], Eduardo Luiz Buligon[1], Felipe do Casal de Paula [1], Juliane Almeida Battisti[1]

[1]Alunos de doutorado do PGEAGRI - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). [2]Docente dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE *jessicacarolinelima@outlook.com.

RESUMO

Este estudo avaliou o uso de resíduos da bovinocultura leiteira como fonte de adubação para a cultura do milho safrinha, na forma de adubo organomineral e biofertilizante, com foco nas enzimas do solo: urease, fosfatase ácida e alcalina, arilsulfatase e β-glicosidase. O experimento foi realizado a campo e os tratamentos (seis) envolveram o uso de adubo mineral, biofertilizante, adubo organomineral e suas combinações. As atividades enzimáticas foram avaliadas 30 dias após a adubação de cobertura. Os resultados revelaram valores médios superiores à caracterização (inicial) para todos os tratamentos, em todas as enzimas. Observou-se diferença estatística significativa apenas na enzima fosfatase alcalina, entre os tratamentos 3 (com uso de adubo organomineral) e 4 (organomineral + biofertilizante), sendo este último maior. Conclui-se que as estratégias de adubação envolvendo o uso dos resíduos da bovinocultura de leite podem melhorar a atividade biológica do solo.

PALAVRAS-CHAVE: biofertilizante; adubo organomineral; separação de frações; digestão anaeróbia

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por práticas agrícolas mais sustentáveis tem sido impulsionada na busca por alternativas que minimizem os impactos ambientais, ao mesmo tempo em que maximizem a produtividade das culturas. Nesse cenário, o uso de resíduos orgânicos, como os provenientes da bovinocultura leiteira, tem se destacado como uma estratégia promissória. Os resíduos dessa atividade, principalmente o esterco, são ricos em nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, e, quando usados especificamente, podem substituir fertilizantes sintéticos, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo e redução da contaminação ambiental.

Os resíduos da bovinocultura de leite podem ser estabilizados por meio do processo de digestão anaeróbia, dando origem ao biogás e biofertilizante. Este último apresenta características químicas com potencial para substituição parcial ou total de fertilizantes sintéticos, principalmente, do N. Neste sentido, Sigurnjak *et al.,* (2017) concluíram que os benefícios econômicos e ecológicos foram maiores quando a fração líquida do biofertilizante foi usada como substituto sintético do N.

A aplicação desses resíduos pode ser particularmente benéfica em sistemas agrícolas que buscam melhorar a utilização do solo e reduzir a dependência de insumos químicos. A cultura do milho de segunda safra é um exemplo de cultivo que tem se destacado na agricultura brasileira, não só pela sua importância econômica, mas também pela sua capacidade de produção em sistemas de sequeiro, aproveitando ao máximo os recursos disponíveis. O uso de resíduos da bovinocultura leiteira como fonte de adubação nessa cultura pode representar uma alternativa ecológica e eficiente para o aumento da produtividade.

A atividade enzimática do solo desempenha papel crucial na compreensão da dinâmica de nutrientes e na saúde do solo. Enzimas como urease, fosfatase ácida e alcalina, arilsulfatase e β-glucosidase estão diretamente envolvidas na participação da matéria orgânica e na liberação de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar o uso de resíduos da bovinocultura leiteira como fonte de adubação na cultura do milho de segunda safra, com destaque na análise da atividade

enzimática do solo, por meio da avaliação das enzimas urease, fosfatase ácida e alcalina, arilsulfatase e β-glucosidase, contribuindo para a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no NEEA- Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola 24°54'00,7"S 53°32'01,4"W, localizado em Sede Alvorada BR-467 km 13, Cascavel – PR á 637m de altitude, conduzido em um delineamento de blocos casualizados. Os blocos foram compostos por 6 parcelas de 7x3m com 21 m^2 cada, total de 24 parcelas em uma área de 630m². O solo da região é caracterizado como um latossolo vermelho distroférrico.

O plantio do milho (*Zea mays*) foi realizado em fevereiro de 2024 e a colheita feita em julho do mesmo ano. Realizou-se análise química da área experimental e com o auxílio do manual de adubação e calagem do Paraná, determinou-se a dose por hectare de 30 kg de nitrogênio na adubação de semeadura e 100 kg na cobertura, 120 kg de fosforo e 90 kg de potássio.

Os tratamentos avaliados foram: T1 adubação mineral (dose recomendada para a cultura do milho safrinha), T2 biofertilizante (dose recomendada no teor de N e suplementação de P e K), T3 organomineral (dose recomendada no teor de P e suplementação de N e K), T4 organomineral no plantio e biofertilizante na cobertura (dose recomendada no teor de N com suplementação de P e K), T5 80% da adubação organomineral adotada em T3 e T6 organomineral (dose recomendada para P e suplementação de N e K).

O biofertilizante juntamente com a cama de compost barn (fração orgânica do adubo organomineral) foram provenientes de uma propriedade rural localizada no município de Céu Azul- PR 25° 02' 43,1" S 53° 46' 48,6" W, após passar por um processo de separação de fração, a parte liquida dos dejetos bovinos é direcionada a um biodigestor com tempo de retenção hidráulica de 15 dias, já a parte é solida é utilizada como parte constituinte da cama de descanso nos barracões de alojamento das vacas, sendo trocada a cada 18 meses.

As amostras coletadas para a determinação das enzimas foram coletadas 30 dias após a adubação de cobertura e retiradas da rizosfera após a extração total da planta do solo, armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e congeladas para dar sequência nas análises. As atividades enzimáticas de fosfatase ácida e alcalina foram determinadas segundo Tabatabai e Bremner (1969) e Eivazi; Tabatabai (1977), para a urease utilizou-se método de destilação a vapor descrito por Tabatabai (1994) e Mulvaney (1996), a atividade da β- glicosidase foi determinada seguindo metodologia descrita por Tabatabai (1994).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios obtidos para a urease, fosfatase ácida e alcalina e arilsulfatase e B- glicosidase aos 30 dias após adubação de cobertura.

De uma maneira geral, os valores médios de todos os tratamentos, para todas as enzimas avaliadas, foram superiores à análise inicial (caracterização), demonstrando a importância do cultivo e das adubações na atividade microbiana.

Diferença estatística significativa foi observada apenas para a enzima fosfatase alcalina, entre os tratamentos 3 (com uso de adubo organomineral) e 4 (organomineral + biofertilizante). A atividade da fosfatase alcalina é favorecida em solos com pH neutro a alcalino e está associada à presença de matéria orgânica que serve de substrato para os microrganismos produtores dessa enzima. Assim, práticas de manejo que aumentam o teor de matéria orgânica e equilibram o pH do solo podem promover a atividade da fosfatase alcalina. O uso do biofertilizante, cujo pH encontra-se na faixa da neutralidade, pode ter causado

aumento do pH do solo (Ferreira Matos *et al.,* 2020) o que favorece a atividade de fosfatase alcalina (Nahas *et al.,* 1994).

Tabela 1. Atividade enzimática do solo.

Tratamento	Urease	Fosfatase ácida	Fosfatase alcalina	Arilsulfatase	ß-glicosidase
	µg N mL		µg p-nitrofenil/g.h		
1	224 ±54,2	13,8^{AB}±3,6	11,8±4,0	1,3±0,4	18,2±5,3
2	213,5±44,8	15,3^{AB}±2,9	16,4±3,7	1,1±0,6	15,1±5,7
3	255,5±44,8	10,7^{B}±2,4	10,2±4,1	1,3±0,5	14,2±3,8
4	165,7±40,1	21,0^{A}±5,2	10,6±6,1	1,3±0,5	22,6±6,6
5	266,0 ±37,0	15,2^{AB}±6,8	12,0±2,9	1,1±0,2	18,0±4,9
6	245,0±90,7	15,0^{AB}±4,0	10,2±3,8	1,4±0,7	21,6±8,6
Inicial	84,0 ±15,0	0	0	0,9±0,2	2,9±0,6
CV%	24	29	35	40	33

De acordo com os estudos de Qi *et al.* (2016), que analisaram os resultados após a aplicação de adubação orgânica e a combinação de adubação orgânica e mineral, foi identificado um efeito benéfico em relação à adubação mineral em longo prazo, especialmente na ativação de sete enzimas estudadas, incluindo a fosfatase, um fenômeno também observado no presente estudo. Esses dados corroboram a eficácia do uso da adubação orgânica em associação com a adubação mineral.

CONCLUSÕES

Houve aumento dos valores médios de todas as enzimas em todos os tratamentos após a adubação.

O uso combinado de adubo organomineral e biofertilizante favoreceu a atividade enzimática de fosfatase alcalina quando comparado com o uso exclusivo de adubo organomineral.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pela cessão das bolsas, ao PGEAGRI-UNIOESTE pela estrutura, a fazenda Iguaçu pela cessão dos resíduos utilizados.

BIBLIOGRAFIA

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatases in Soils. **Soil Biology Biochemistry**, [s.l.], v. 9, p. 167-172, 1977.

FERREIRA MATOS, C., MACHADO PINHEIRO, E. F., VILAS BOAS DE CAMPOS, D., BAHIENSE STAFANATO, J., MARQUES DE OLIVEIRA DURÃO, S., BARROS SANCHEZ DO CARMO, C. MENDONÇA MARINHO, L. R. (2020). **Efeitos da aplicação de digestato bovino nas características do solo Planossolo Háplico no município de Seropédica - RJ**. RedBioLAC, 4, 17-21.

MULVANEY, R. L. Nitrogênio: Formas Inorgânicas. *In:* SPARKS, D. L. *et al*. (Eds.). **Métodos de Análise de Solo**. Parte 3. Métodos Químicos. ASA and SSSA, Madison, 1996. p. 1123-1184.

NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.49-53, 1994a.

QI. R., LI. J., LIN. Z., LI. Z., LI. Y., YANG, X., ZHANG, J., ZHAO, B. Temperature effects on soil organic carbon, soil labile organic carbon fractions, and soil enzyme activities under long-term fertilization regimes. **Applied Soil Ecology.** [s.l.], v. 102, p. 36-45, 2016.

SIGURNJAK, I.; VANEECKHAUTE, C.; MICHELS, E.; RYCKAERT, B.; GHEKIERE, G.; TACK, F.M.G.; MEERS, E. **Fertilizer performance of liquid fraction of digestate as synthetic nitrogen substitute in silage maize cultivation for three consecutive years.** Science of The Total Environment, Volumes 599–600, 2017, p. 1885-1894, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.120.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. *In:* **Methods of soil analysis: part 2: microbiological and biochemical properties**. Madison: SSSA, 1994. p. 775-833. (SSSA Book Series: 5).

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 1, p. 301-307, 1969.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DETERMINAÇÃO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM DIFERENTES ROTAÇÕES DE CULTURA DE ENZIMAS DO SOLO

André Luiz Oliveira de Francisco[1*], Milena Santos de Oliveira [2], Lucas Pereira Scheidt Feltz[3], Josiane Burkner dos Santos[4], Lutécia Beatriz dos Santos Canalli[4]

[1] Analista do IDR-Paraná, [2] Bolsista IC do IDR-Paraná, [3] Mestrando da UFPR, [4] Pesquisador do IDR-Paraná

RESUMO

As mudanças de manejo nos sistemas de produção agrícola alteram diversos elementos do solo, estas mudanças levam a alterações nos padrões de vida da microbiota do solo alterando sua população, organização e atividade. Objetivou-se no experimento comparar diferentes rotações de cultura sob sistema plantio direto na região dos Campos Gerais-PR, utilizando-se das enzimas ligadas aos ciclos dos principais nutrientes do sistema de produção. Cinco rotações (II a V) e uma sucessão (I) de culturas de inverno/verão vem ao longo de 8 anos sendo cultivada com 4 repetições em bloco casualizados. Em amostras de solo da profundida 0,1m a fosfatase ácida, urease e hidrolase do diacetato foram analisadas nestas rotações e testes estatísticos foram aplicados. Pode-se observar maiores atividades das enzimas nas rotações com adubos verdes predominando (IV e V) ou sempre presentes (V) nos momentos de inverno, demonstrando a efetiva melhoria do sistema com introdução de matéria orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: uréase; fosfatase ácida; hidrolase do diacetato; adubos verdes; sucessão de culturas.

INTRODUÇÃO

A rotação de culturas é um manejo consolidado no meio agrícola, sendo essencial para que haja um sistema mais sustentável e com qualidade em todos os sentidos (solo, fitopatologia, plantas daninhas, dentre outros). A rotação é definida como a alternância de diferentes culturas em uma mesma área, com tempos determinados (ciclos), levando-se em conta as estações do ano (FONTOURA *et al*., 2015). A rotação de culturas e o sistema de plantio direto (SPD) são manejos que reduzem os efeitos do sistema de produção aplicado ao ambiente produtivo, minimizando alguns destes problemas, sendo que a adoção do cultivo de adubos verdes neste sistema intensifica os potenciais de ambos, promovendo aumento na qualidade e quantidade de matéria orgânica depositada no solo e promovendo mudanças benéficas na ocupação do solo e ambiente (CALLEGARI, 2014; CONCEIÇÃO *et al*., 2023). As rotações devem ser planejadas de forma a englobar culturas com diferentes demandas de nutrientes, capacidades de inserção de matéria orgânica, e sistemas radiculares para assim gerar maiores benefícios a biota e microbiota do solo e a planta sucessora (DEEM *et al*., 2016).

As mudanças de manejo nos sistemas de produção agrícola alteram diversos elementos do solo, como nutrientes, oxigénio, água, matéria orgânica, dentre outros. Estas mudanças levam a alterações nos padrões de vida da microbiota do solo alterando sua população, organização e atividade. Os indicadores biológicos do solo englobam analises da macro e meso fauna de animais do solo e também da microbiota do solo (ARAUJO; MONTEIRO, 2007), sendo o último, atualmente, o foco principal de estudos de qualidade do solo. Os indicadores microbiológicos do solo são mais sensíveis as mudanças de manejos do que os indicadores químicos e físicos (TATE, 2021).

As enzimas são a parte vital do metabolismo da microbiota do solo, estando intimamente ligadas as atividades, ações e o comportamento de seus geradores. A atividade das enzimas do solo responde rapidamente aos fatores ambientais e pode ser avaliada utilizando metodologias consideravelmente baratas (BALOTA, 2017). Assim o presente trabalho teve o objetivo de comparar diferentes rotações de cultura sob sistema plantio direto utilizando as enzimas ligados ao ciclo dos principais nutrientes do sistema de produção para tais fins.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está implantado desde 2017 na Estação Experimental de Ponta Grossa-PR do IDR-Paraná e segue até o presente momento a campo tem delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Cinco rotações, em sistema de plantio direto formam o experimento, havendo desde o início do experimento verão 2017/18 onde todo o experimento teve a cultura da soja para padronização e correções de solo (calagem) e seguindo-se as safras de inverno e verão de 2018/19, 2019/20, 2020/21 e 2021/2022 (até início de 2202 no verão) as seguintes nominações e a sequência de culturas, respectivamente: Rotação II (aveia/milho, trigo/soja, trigo/soja, aveia preta/milho e trigo/soja), Rotação III (canola/milho, trigo/soja, cevada/soja, canola/milho e trigo/soja), Rotação IV (aveia branca/feijão/trigo mourisco, tremoço+ervilha/milho, triticale/soja, tremoço+ervilha/milho e aveia branca/ feijão/trigo mourisco), Rotação V (aveia+azevem/milho, aveia+azevem/milho, aveia+azevem/soja, ervilha+centeio+nabo/milho e trigo/ feijão/trigo mourisco), Rotação VI (aveia+ervilhaca+nabo/milho, aveia+centeio+ervilha/feijão/trigo mourisco, triticale+aveia+centeio/soja, aveia+ervilha+nabo/milho e triticale+centeio+ervilhaca forrageira/ feijão/trigo mourisco). Como testemunha, utilizou-se a sucessão trigo/soja em todos os anos, sendo a mesma denominada como tratamento Rotação I.

A rotação II apresenta adubos verdes apenas no momento da aveia preta, a rotação IV e V apresenta adubos em todos os invernos com exceção do triticale na rotação IV em 2019 e rotação V em 2022 e a rotações VI apresentam adubos verdes em todos os invernos, sendo em todos mix de coberturas.

Avaliou-se a atividade da enzima Fosfatase Ácida foi realizada segundo descrito por Tabatabai e Bremmer (1969) e adapatada por Eivazi e Tabatabai (1977), a hidrolase foi realizada segundo Dick *et al.*, (1996) IN: Doran *et al.*, (1996) e a hidrolase do diacetato foi segundo Kandeler e Gerber (1988) IN: Alef e Nannipieri (1995). Amostrou-se solo da camada 0-0,1m no verão de 2021-22 em parcelas 30x10m de cada tratamento, havendo a coleta em 4 diferentes pontos da parcela (subamostras), depois homogeneizando-se e gerando a amostra. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância e tabelas foram montadas para demonstração dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no experimento estão demonstrados na tabela 1, abaixo, onde podemos observar que nas 3 enzimas analisadas a rotação I ou sucessão de culturas obteve os menores resultados. Observando-se o patamar superior podemos observar a rotação VI obtendo os melhores resultados nas 3 enzimas, seguidas das rotações IV e V que apresentaram comportamento semelhante a rotação VI ou logo abaixo.

Avaliando sistemas rotacionados com adubos verdes Lisboa *et al*. (2012) e Bini *et al*. (2014) obtiveram comportamento semelhante quando avaliaram a enzima fosfatase ácida, onde as rotações com adubos verdes mostraram os maiores valores. Ambos afirmaram que nos manejos com maior utilização do solo por culturas produtivas apresentaram menor atividade da enzima, apenas os solos com maiores perturbações (revolvimento) tiveram resultados inferiores em relação as demais na pesquisa destes autores. Contudo os autores diversos destacam a fosfatase ácida como uma das enzimas com menor sensibilidade para demonstrar alterações em função de mudanças no sistema de rotação, principalmente devido aos auto valores de adubação fosfatada, fato que leva a necessidade de continuidade no monitoramento do sistema em questão ao longo dos anos.

Tabela 1. Atividade das enzimas do solo Hidrolase do Diacetato, Fosfatase Ácida e Urease, nas rotações de culturas do experimento na safra 2021/2022 verão:

Rotação	Hidrolase do Diaceato*	Fosfatase Ácida*	Urease*
Rotação I	172,53 c	294,5 d	23,84 c
Rotação II	168,49 bc	311,58 c	25,21 b
Rotação III	177,72 b	313,73 c	25,77 b
Rotação IV	187,08 ab	337,05 b	28,46 a
Rotação V	192,65 a	339,64 b	28,31 a
Rotação VI	191,46 a	361,47 a	28,63 a
CV%	16,28	19,65	22,54

Fonte: O Autor
Legenda: * Unidade da enzima Fosfatase Ácida: µg p-nitrofenol.g solo seco.hora; Unidade da enzima FDA: µg de FDA Hidrolisado.g solo seco.hora; Unidade da enzima Urease: µg NH_4-N.g solo seco.hora.
Legenda: ** Os valores seguidos de letras diferentes diferem entre si apartir do teste de Tukey com f de 0,05

Avaliando a urease Nivelle *et al*. (2016) comparou os sistemas de manejo do solo convencional e direto e diferentes coberturas ao longo de 5 anos e obteve resultados semelhantes aos observados neste estudo, onde a presença de adubos verdes, com destaque para as leguminosas resultaram em uma maior atividade da urease, principalmente quando em SPD. Contudo novamente a enzima urease é considerada pouco efetiva na avaliação de sistema por diversos autores devido ao efeito negativo que a adubação nitrogenada utilizando fonte a base de ureia ou ureídeos mascara ou distorce a atividade desta enzima em sistema de produção. Vale salientar que neste estudo tal situação não foi observada e também em outros momentos de visualização da enzima, fato que reforma a necessidade da continuidade na verificação da enzima neste sistema de produção como a enzima fosfatase ácida já mencionada aqui.

A hidrolase do diacetato ainda é uma enzima pouco utilizada na avaliação de sistema de produção, contudo pesquisas vem demonstrando a mesma como um bom índice (sensível) como as demais enzimas já solidas nas avaliações de sistema do solo. Uma maior atividade da FDA, está associada a valores superiores do CBMe índice de shanon em rotações com a presença de adubos verdes nos períodos de inverno (BARBIERI *et al*., 2019), fato que ocorre neste trabalho reforçando a possibilidade de utilização da hidrolase e mais pesquisas utilizando esta enzima do solo.

CONCLUSÕES

Podemos concluir que as enzimas são sensíveis na verificação dos sistemas de produção com maior ou menor inserção de matéria orgânica no sistema, tendo havidos os maiores valores das enzimas avaliadas nos sistemas rotacionados com inserção de adubos verdes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IDR-Paraná pela possibilidade e estrutura para realização da pesquisa, aos estagiários da mesma e ao CNPQ/FAA pelas bolsas aos estagiários e técnicos. Por fim agradeço aos pesquisadores parceiros pelo apoio.

BIBLIOGRAFIA

CALEGARI, A. Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. *In:* FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil:** fundamentos e prática. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014. p. 21-36.

CONCEIÇÃO, P. C.; CASSOL, C.; SARTOR, L. R.; CASALI, C. A.; MAZARO, S. M. Planta de Cobertura e Saúde do Solo. *In:* MEYER, M. C.; BUENI, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: EMBRAPA, 2022. p.227-248. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/114441-4/1/-Cap-29-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R. P. **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. 3. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146 p.

DEEN, W.; MARTIN, R.; HOOKER, D.; GAUDIN, A. Crop rotation trends: past, present and future benefits and drivers. *In:* **Crop rotations: farming practices, monitoring and environmental benefits.** NewYork: Nova Science Publications, 2016. p. 35-50. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321344765_Crop_rotation_-trends_Past_present_and_future_benefits_and_drivers/citation/download. Acesso em: 02 Mar. 2025.

TATE, R. L. **Soil microbiology**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 2020. Disponível em:https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=E48BEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=TATE+III,+Robert+L.+Soil+microbiology&ots=a5yjgIrYod&sig=wR4QYiwZVEmZ4IQzsAo077njw70&redir_esc=y#v=onepage&q=TATE%20III%2C%20Robert%20L.%20Soil%20microbiology&f=false. Acesso em: 01 Mar. 2025.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Mecenas, 2017, p. 288.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatases in soils. **Soil biology and biochemistry**, v. 9, n. 3, p. 167-172, 1977.

TABATABAI, M. Ali; BREMNER, John M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil biology and biochemistry**, v. 1, n. 4, p. 301-307, 1969.

DICK, R. P., BREAKWELL, D. P., TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. *In:* DORAN, J. W.; JONES, A. J (eds). Methods for assessing soil quality. Madison: **Soil Science Society of America**, 1996. p. 247-272.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil Microbiology and biochemistry**. Academic Press. Harcourt Brace & Company, Publisher. London. 1995. 576p.

LISBOA, B. B. *et al*. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 33-44, 2012.

BINI, D., DOS SANTOS, C. A., BERNAL, L. P. T., ANDRADE, G., NOGUEIRA, M. A. Identifying indicators of C and N cycling in a clayey Ultisol under different tillage and uses in winter. **Applied Soil Ecology**, 76, 2014, 95-101.

BARBIERI, M., DOSSIM, M. F., DALLA NORA, D., DOS SANTOS, W. B., BEVILACQUA, C. B., de ANDRADE, N., ANTONIOLLI, Z. I. Ensaio sobre a bioatividade do solo sob plantio direto em sucessão e rotação de culturas de inverno e verão. **Revista de Ciências Agrárias**, *42*(1), 2019, 122-134.

NIVELLE, E., VERZEAUX, J., HABBIB, H., KUZYAKOV, Y., DECOCQ, G., ROGER, D., LACOUX, J., DUCLERCQ, J., SPICHER, F., NAVA-SAUCEDO, E. J., CATTEROU, M., DUBOIS F., TETU, T. Functional response of soil microbial communities to tillage, cover crops and nitrogen fertilization. **Applied Soil ecology**, v. 108, p. 147-155, 2016.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

VARIAÇÃO TEMPORAL DA ATIVIDADE DA ENZIMA ARILSULFATASE EM ÁREAS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO E TERRACEAMENTO AGRÍCOLA

Lethicia Bueno da Silva[2]*, Kauane Victória Szemocoviaki[1], Carolina Weigert Galvão[3], Neyde Fabíola Balarezo Giarola[4], Rafael Mazer Etto[3]

[2]Estudante de mestrado, Lab. Biologia Molecular Microbiana (LABMOM), Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), *lethiciabueno2@gmail.com; [1]Estudante de graduação, LABMOM, UEPG; [3]Professor(a) e pesquisador(a), LABMOM, UEPG; [4]Professor(a) e pesquisador(a), Laboratório de Física do solo, UEPG

RESUMO

A saúde do solo está relacionada à sua capacidade de sustentar a produção agrícola, regular os ciclos de nutrientes e preservar a biodiversidade. Práticas conservacionistas, como o plantio direto e o terraceamento, desempenham um papel essencial na sua manutenção. A atividade da enzima arilsulfatase do solo pode ser utilizado como indicador da saúde do solo, uma vez que reflete a sua atividade biológica e capacidade de ciclagem de nutrientes. O estudo foi realizado entre 2020 e 2024 na Fazenda Escola "Capão da Onça" (UEPG), nos Campos Gerais, com duas megaparcelas submetidas a tratamentos com (CT) e sem (ST) terraços, nas quais foram coletadas 72 amostras de solo (0-10 cm) para análise das atividades enzimáticas. O objetivo foi avaliar o impacto do terraceamento na saúde biológica do solo em sistemas de plantio direto. Os resultados indicaram que o uso de terraços (CT) favoreceu a atividade enzimática, reforçando a importância do manejo adequado para a conservação do solo a longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: saúde do solo; enzima; agricultura sustentável.

INTRODUÇÃO

A preservação e o uso sustentável do solo são essenciais para a agricultura, especialmente diante do desafio de alimentar uma população crescente. A saúde do solo envolve sua capacidade de sustentar a produção agrícola, regular nutrientes e água, e preservar a biodiversidade, tornando as práticas de manejo sustentável, como o plantio direto e a construção de terraços, cada vez mais relevantes (Lal, 2015).

O plantio direto, uma técnica conservacionista amplamente difundida, que tem demonstrado eficácia na manutenção do solo, especialmente em áreas sujeitas à erosão. Ao diminuir o revolvimento do solo, essa técnica reduz a perda de matéria orgânica, aumenta a retenção de água e melhora a estabilidade estrutural do solo (Blanco-Canqui & Rattan, 2021). Atrelado a isso, a construção de terraços agrícolas também é uma técnica comumente utilizada para a conservação do solo, principalmente em locais com declividade acentuada. Como barreiras físicas, os terraços diminuem o escoamento superficial e evitam a erosão, permitindo que a água se infiltre melhor no solo (Zhang *et al*., 2019).

Os bioindicadores do solo são essenciais para avaliar e monitorar a saúde do solo a longo prazo, refletindo a atividade microbiana, a diversidade e a ciclagem de nutrientes. As enzimas do solo, como a arilsulfatase e a fosfatase, desempenham papéis cruciais no ciclo dos nutrientes, promovendo a decomposição da matéria orgânica e liberando nutrientes essenciais para as plantas. a arilsulfatase se destaca por sua função na mineralização do enxofre orgânico, convertendo-o em formas inorgânicas que podem ser absorvidas pelas plantas. O enxofre é um nutriente fundamental para a síntese de aminoácidos e proteínas. Nos sistemas agrícolas, a atividade dessa enzima é frequentemente utilizada como um indicador da habilidade do solo em ciclar enxofre, o que é crucial para manter a produtividade agrícola (Maharjan *et al*., 2018). Portanto, práticas de manejo sustentável e monitoramento de indicadores biológicos, são necessários para manter a saúde do solo e garantir sua capacidade produtiva, garantindo a segurança alimentar e sistemas agrícolas sustentáveis a longo prazo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado entre os anos de 2020 e 2024 na Fazenda Escola "Capão da Onça", localizada na região dos Campos Gerais, pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). A propriedade está situada nas coordenadas 25° 05' 49" S e 50° 03' 43,11" W, a uma altitude de 975 metros. A área de estudo abrange duas megaparcelas de 1,604 ha e 1,476 ha com dois tratamentos: megaparcela sob sistema de plantio direto com terraços (CT) e megaparcela sob sistema de plantio direto sem terraços (ST) (Figura 1). Cada unidade possui 36 pontos de coleta, com a megaparcela CT apresentando 6 terraços de infiltração.

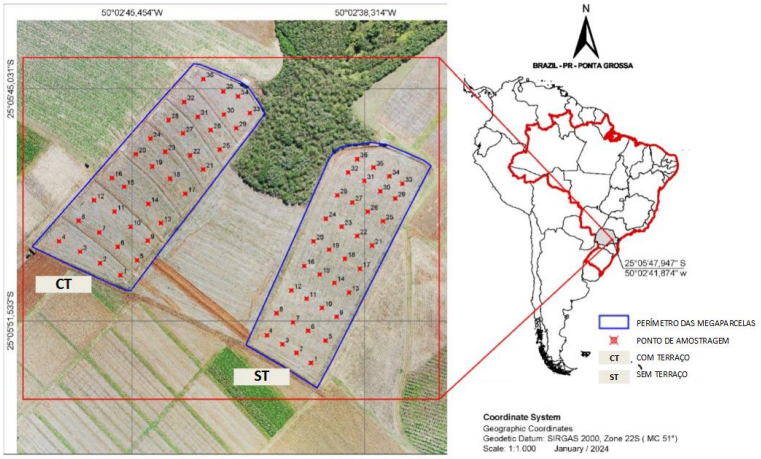


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Ponta Grossa, Paraná. Fonte: Ricardo Kwiatkowski da Silva, 2024.

O histórico da área relata ser manejado em plantio direto, sem revolvimento. Ocasionalmente, o revolvimento do solo para descompactação com escarificador. A construção dos terraços envolveu terraceador de dois discos, arado de discos e lâmina traseira acoplada ao trator, movimentando o solo de cima para baixo e vice-versa. As culturas foram implementadas conforme a Figura 2. Devido à topografia do experimento, a pedossequência das megaparcelas é composta por: (1) terço superior com Latossolo vermelho distrófico, (2) terço médio com Latossolo vermelho-amarelo distrófico e (3) terço inferior com Cambissolo (EMBRAPA, 2018).



Figura 2. Sequência de cultivos realizado nas megaparcelas experimentais. Fonte: Regiane K. Becker, 2024.

Para a coleta de solo, foram selecionados 36 pontos por megaparcela, totalizando 72 amostras. Em cada ponto, foi retirada uma amostra de aproximadamente 500 g de solo da camada de 0 a 10 cm. A metodologia proposta por Tabatabai (1982) foi adotada para a determinação da atividade da enzima arilsulfatase no solo, baseada na quantificação do p-nitrofenol liberado após a incubação da amostra. O procedimento envolveu a incubação de uma alíquota de solo com o Tampão Acetato 0,5M pH 5,8 e substrato *p-nitrofenil sulfato de potássio (N3877 - Sigma Merck)* sob condições controladas de temperatura (37°C) ,

ajustadas para otimizar a atividade enzimática. Após a incubação, a reação foi interrompida com um Cloreto de Cálcio 0,5M e Hidróxido de Sódio 0,5M, estabilizando o produto formado. A leitura do p-nitrofenol foi realizada em espectrofotômetro a 410 nm, assegurando precisão e sensibilidade na detecção da atividade enzimática. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Diante da não conformidade com a distribuição normal, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o efeito dos terraços na atividade enzimática do solo, as amostras foram coletadas anualmente nas megaparcelas com e sem terraço. Este estudo apresenta os resultados referentes aos anos de 2020 a 2024.

Nos anos iniciais (2020 e 2021), a atividade da Enzima Arilsulfatase (Figura 3) se apresentou maior na área sem terraço (ST) em comparação com a área com terraço (CT). Esse comportamento pode ser explicado pela menor perturbação do solo na área ST. Em 2022, ambas as áreas apresentaram níveis semelhantes, sugerindo uma adaptação dos sistemas ao longo do tempo (Kuzyakov, 2010). Em 2024, a área CT apresentou maior atividade enzimática, possivelmente devido aos benefícios dos terraços na retenção de água e prevenção da erosão, criando condições mais favoráveis à microbiota do solo (Oliveira *et al*., 2021). A maior variabilidade observada nas duas áreas em 2024 destaca a importância de considerar a topossequência nas avaliações, já que fatores como topografia afetam a distribuição de água e nutrientes, influenciando a atividade enzimática (Green *et al*., 2007; Pandey *et al*., 2014). Visto que entre 2020 e 2024 a área CT apresentou um aumento mais pronunciado na atividade enzimática, evidenciando os benefícios do uso de terraços para melhorar as condições biológicas do solo e a conservação do solo a longo prazo (Zhang *et al*., 2019).

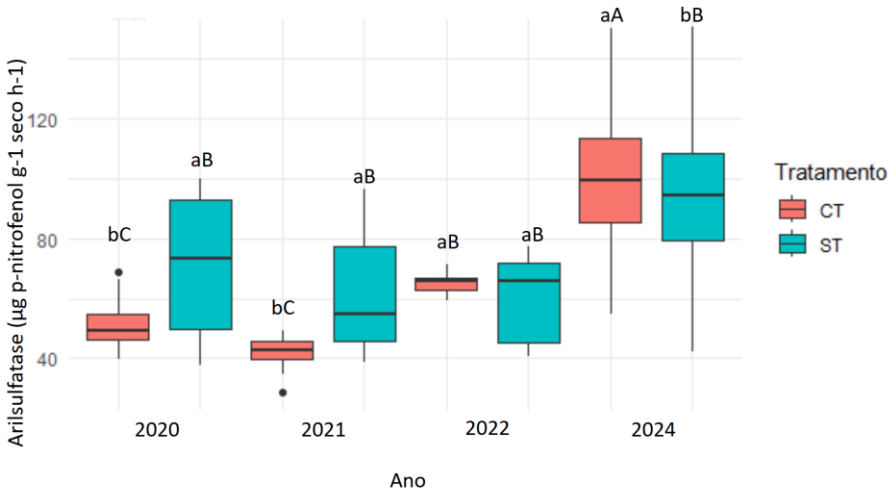


Figura 3. Análise temporal da atividade da enzima arilsulfatase em áreas com (CT) e sem terraceamento (ST).
Legenda: As letras minúsculas fazem a comparação entre as megaparcelas CT e ST, enquanto as letras maiúsculas comparam as megaparcelas entre os diferentes anos. Letras distintas indicam uma diferença estatisticamente significativa, conforme o teste de Dunn ($p<0,05$). CT representa "com terraço", e ST significa "sem terraço".

CONCLUSÕES

Ao longo dos anos de estudo, observou-se que o uso de terraços (CT) trouxe benefícios para a atividade enzimática do solo, evidenciando os benefícios do plantio direto e manejo adequado para a conservação e melhoria do solo a longo prazo. A variabilidade nas duas áreas destaca a importância da de

um estudo mais aprofundado em relação à topossequência nas avaliações, pois influencia a distribuição de água e nutrientes no solo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação (NAPI) Prossolo e ao Laboratório de Biologia Molecular Microbiana (LABMOM) da UEPG, pela colaboração e financiamento na condução deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

BLANCO-CANQUI, H., & LAL, R. (2021). Soil erosion and conservation in the 21st century: Conservation agriculture. **Soil and Tillage Research**, 204, 104634.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 356p.

GREEN, V; STOTT, D; CRUZ, J; CURI, N. Tillage impacts on soil biology activity and aggregation in a brazillian cerrado oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 92, p. 114-121, 2007.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO2 efflux from soil and review of partitioning methods. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 3, p. 425-448, 2010.

LAL, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, 7(5), 5875-5895.

MAHARJAN, M., KÄTTERER, T., & LANTZ, A. (2018). "Soil enzyme activity under different cropping systems: A tool to assess soil health." **Ecological Indicators**, 92, 490-495.

OLIVEIRA, P. T. S., PIRES, F. M., & RODRIGUES, J. A. (2021). Agricultural terraces and their influence on soil properties and crop yields: A case study in tropical environments. **Soil and Tillage Research**, 210, 104982.

PANDEY, D; AGRAWAL, M; BOHRA, J. S. Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 51-60, 2014.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. *In:* WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. (Ed.). **Methods of soil analysis**: microbiological and biochemical properties. Soil Science Society American, Madison, Part 2. 1994. 778- 835p.

ZHANG, G., YAO, R., GAO, Y., & SHI, L. (2019). The role of terracing in reducing soil erosion in the hilly regions of China. **Soil Science Society of America Journal**, 83(3), 703-711.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DO USO DE CAMA DE FRANGO EM LONGO PRAZO NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA SOJA

Laércio Ricardo Sartor[1*], Leonardo Debiasi[2], João Henrique Silva da Luz[3], Caroline Amadori[4], Elius Regis[5].
[1] Professor do Curso de Agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [2] Estudante de Graduação em Agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [3] Estudante de Doutorado do Programa de Pós-graduação, Esalq-USP,[4] Pesquisadora de Pós-doutorado, UTFPR Campus Dois Vizinhos. [5] Estudante de doutorado do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, UTFPR Campus Dois Vizinhos.
*laerciosartor@utfpr.edu.br

RESUMO

O uso de cama de frango (CF) como fertilizante pode ser uma alternativa sustentável e econômica aos fertilizantes minerais. Objetivou-se avaliar o efeito de doses de CF na atividade enzimática do solo e na produtividade da soja. Os tratamentos foram CF nas doses 0, 3, 6 e 9 Mg ha^{-1} e adubação mineral (AM). Foram avaliadas (setembro 2024) a atividade das enzimas do solo: fosfatase ácida, fosfatase alcalina, B-glucosidade e urease; e o rendimento de grãos (2023-24). A CF aumentou a atividade das enzimas fosfatase alcalina, 278 µg PNP g^{-1} h^{-1} (6 Mg ha^{-1}), e da urease acima de 310 µg PNP g^{-1} h^{-1} para 6 e 9 Mg ha^{-1}. Conclui-se que a atividade enzimática do solo com CF é similar ou superior ao solo com AM. A menor dose de 3 Mg ha^{-1} de CF é capaz de promover rendimento de grãos de soja (4035 kg ha^{-1}) similar a AM.
PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica; cama de aviário; adubação mineral; fosfatase; Beta-glucosidase.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda atual por alimentos e por sustentabilidade ambiental é fator determinante para a expansão e manutenção da produção agropecuária brasileira. A avicultura coloca o Brasil como um dos maiores produtores e exportadores de carne de frango, com o Paraná destacando-se na atividade, com mais de 2 bilhões de aves produzidas em 2022 (IBGE, 2024), sendo a região sudoeste do estado a de maior importância para a produção. Por sua vez, essa atividade gera resíduos orgânicos, como a cama de aviário, composta por maravalha ou outros materiais e resíduos como excrementos das aves, restos de ração, penas, que após processo de compostagem resulta em um material rico em nutrientes (Botega, 2019).

Com isso, o uso de cama de aves como fertilizante pode ser uma alternativa sustentável e econômica em relação aos fertilizantes minerais, devido ao seu potencial de ciclagem de nutrientes no solo e no aumento de produtividade das culturas agrícolas (Campos, 2022). Além disso, a cama de frango atua nas propriedades do solo, como retenção de água, agregação, disponibilidade de nutrientes, atividade microbiana, entre outros. Dentro disso, a avaliação de indicadores de saúde e qualidade do solo como a atividade das enzimas do solo é importante, pois estas são essenciais para a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, auxiliando na solubilização e mineralização dos nutrientes no solo (Balota *et al.*, 2013).

A hipótese do trabalho é a de que a aplicação de cama de aves no solo interfere na atividade enzimática, melhorando a ciclagem de nutrientes, resultando em maior produtividade da soja. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses de cama de frango, após 12 anos de uso, na atividade enzimática do solo e na produtividade da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O protocolo experimental, de longo prazo, está instalado na UTFPR Câmpus Dois Vizinhos (25°41’ Sul; 53°05’ Oeste, altitude 530 m). O clima regional é caracterizado como subtropical úmido, Cfa segundo a Classificação de Köppen, com precipitação média anual de 2100 mm e o solo local é classificado como um Latossolo Vermelho distroférrico. Esse protocolo experimental se iniciou em 2012. Entre 2012 e 2015 foram aplicados anualmente, antes do cultivo do milho como cultura de verão, 0, 4,5; 9 e 13,5 Mg ha^{-1} de matéria

seca (MS) de resíduos orgânicos oriundos de aviários de frango de corte. No ano de 2016 e 2019 não foi feita aplicação desse fertilizante e fez-se cultivo de soja sob efeito residual dessas doses de adubação orgânica aplicadas no ano anterior e a partir de 2017 e atualmente, o protocolo segue com 0, 3, 6 e 9 Mg ha^{-1} desse resíduo em aplicações feitas a cada dois anos, com cultivo de aveia no período de inverno em rotação com milho (2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018, 2020 e 2022/2023) e soja (2016, 2019, 2021 e 2023/2024) e um tratamento com adubação mineral aplicado como testemunha. A cama de aves apresentou os teores de 3,52 % de N, 1,6 % de P, 4,47 % de K, 1,23 % de Ca, 0,38 % de Mg e 19,14 % de C. A adubação mineral foi realizada na dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 100 kg ha^{-1} de K_2O no mesmo momento da adubação orgânica, com uso de 200 kg ha^{-1} de N quando para cultivo do milho, em estágio V5 da cultura.

A soja foi semeada em novembro 2023 utilizando a variedade Brasmax 55I57RSFIPRO (Zeus) com espaçamento de 45 cm, sem o uso de fertilizante. Os tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações técnicas da cultura. A avaliação enzimática do solo foi realizada no do laboratório de solos da Esalq/USP, com amostras de solo das camadas 0-5 e 5-10 cm, coletadas, em duplicatas, no mês de setembro de 2024, com a determinação da atividade das enzimas: fosfatase ácida, fosfatase alcalina, B-glucosidase e urease. Para realizar a análise da atividade enzimática da β-glicosidase, Fosfatase alcalina, Fosfatase ácida e Urease seguem protocolos semelhantes aos estudados por Alef e Nannipieri (1995) e por Eivazi e Tabatabai (1988). A produtividade da soja foi avaliada em março de 2024 (safra de 2023/24) através da colheita de grãos de uma área de 4,5 m^2, com correção da umidade para 13%, e estimativa de rendimento por hectare.

Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F a um nível de significância de 5% de probabilidade, e as médias de efeito qualitativo foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atividade da enzima fosfatase ácida foi maior para a AM e diminui com o aumento da dose da cama de frango na camada 0-5 cm (Figura 1A). Essa enzima, produzida por plantas e microrganismos, auxilia na liberação do fosfato de compostos orgânicos, como fitatos e fosfolipídios, os quais de outra forma seriam inacessíveis para as plantas (Mendes *et al.*, 2019), e atua com maior expressão em solos com pH ácidos, como nesse caso, o solo com fertilizante mineral. Já para a fosfatase alcalina, para a camada 0-5 cm, a dose de 6 Mg ha^{-1} de cama de frango teve a maior atividade, e o solo sem fertilização a menor atividade (Figura 1B). A camada 5-10 cm apresentou comportamento similar. A fosfatase alcalina é originada pela atividade microbiana e relaciona-se com a matéria orgânica do solo (Mendes *et al.*, 2019). Com a adição de grandes quantidades de resíduos orgânicos ao solo, através da cama de frango, há uma elevação do pH do solo e um estímulo a atividade microbiana, e a ação da fosfatase alcalina. As duas enzimas desempenham um papel essencial na mobilização de fósforo nos solos brasileiros.

A Beta-glucosidase apresentou maior atividade no solo sob AM, com 6 e 9 Mg ha^{-1} de cama de frango, diferindo do solo testemunha (0 Mg ha^{-1}), para a camada 0-5 cm (Figura 1C). Essa enzima é utilizada como indicadora de qualidade do solo, com alta sensibilidade e resposta as mudanças no manejo agrícola, atuando na decomposição da matéria orgânica do solo, transformando polímeros complexos como a celulose em açúcares simples que são facilmente assimilados pela biota do solo (Mariscal-Sancho *et al.*, 2018). A ausência de adição de nutrientes foi determinante na redução da atividade dessa enzima. Já a urease, teve maior atividade nas doses 6 e 9 Mg ha^{-1} de cama de frango (Figura 1D). A atividade da urease é fundamental para a ciclagem do nitrogênio do solo, indicando que a ação da enzima foi gradual na liberação de nitrogênio para o solo (Sobucki *et al.*, 2021).

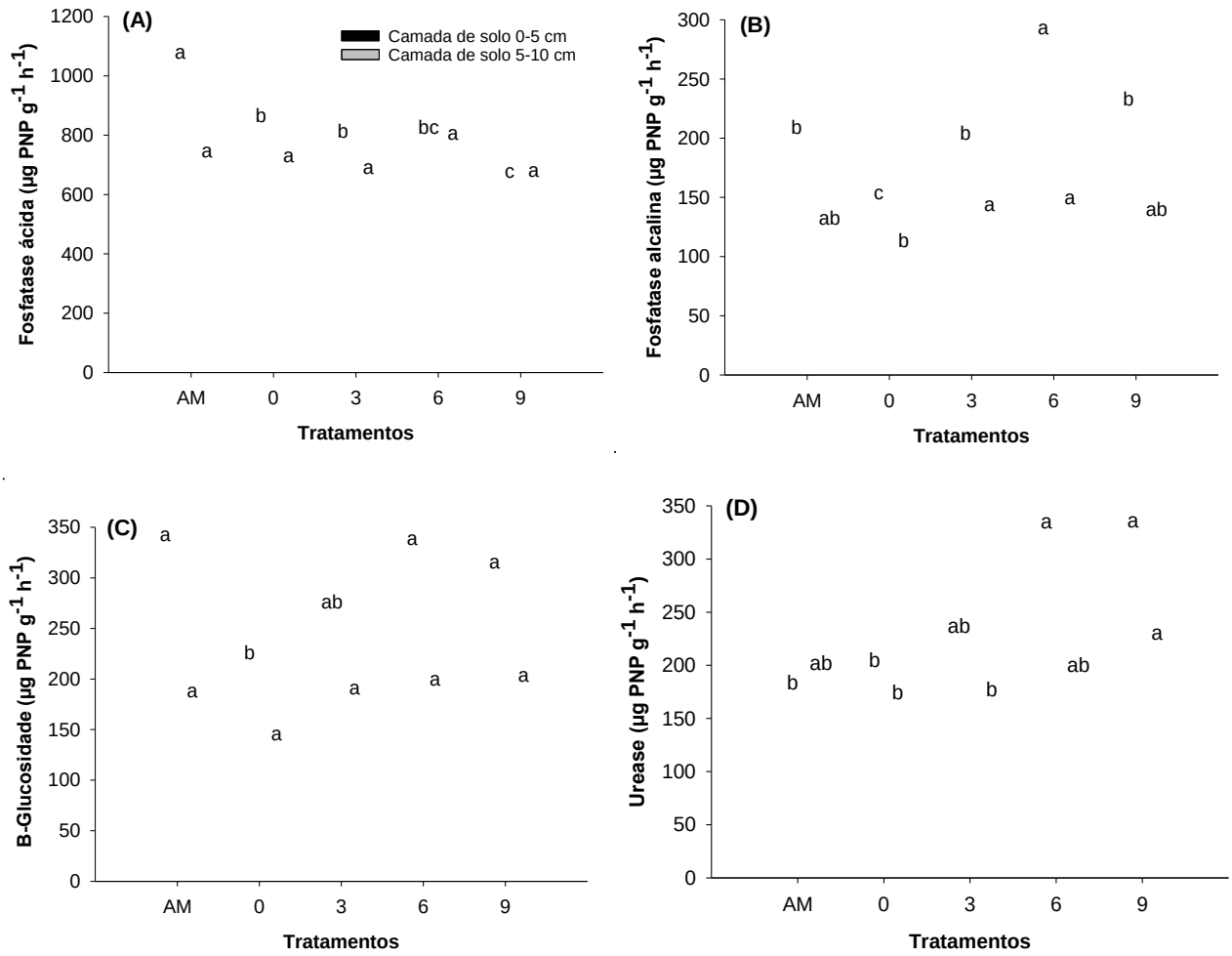


Figura 1. Atividade das enzimas fosfatase ácida (A), fosfatase alcalina (B), B-glucosidade (C), e urease (D) do solo nas camadas 0-5 e 5-10 cm, para os tratamentos de adubação mineral (AM) e doses de cama de frango (0, 3, 6 e 9 Mg ha^{-1}). Letras iguais dentro da mesma camada de solo não diferem pelo teste de Tukey (p>0,05).

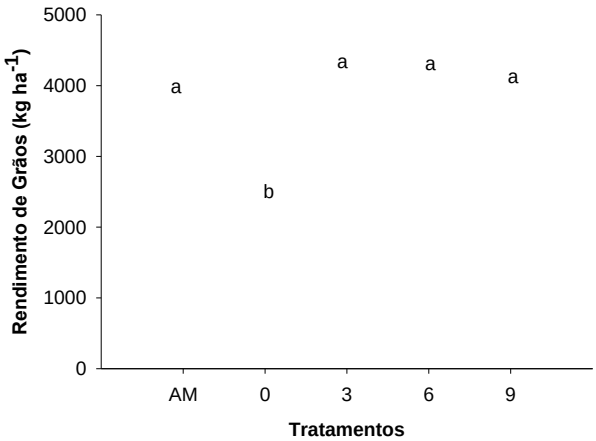


Figura 2. Rendimento de grãos de soja na safra 2023-24 para os tratamentos de adubação mineral (AM) e doses de cama de frango (0, 3, 6 e 9 Mg ha^{-1}). Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey (p>0,05).

Para o rendimento de grãos de soja, apenas o tratamento testemunha (dose 0 Mg ha^{-1} de cama de frango) apresentou menor produção (2.229 kg ha^{-1}), enquanto que os demais tratamentos com fertilização,

mineral ou orgânica foram similares, com valores acima de 3.700 kg ha^{-1} (Figura 2). Com isso, destaca-se o efeito da dose 3 Mg ha^{-1} de cama de frango, a qual já foi suficiente para garantir rendimento equivalente a AM, enquanto que, nas doses superiores, a cultura da soja não foi eficiente em utilizar a maior quantidade de nutrientes e matéria orgânica do solo disponível no solo.

CONCLUSÕES

A atividade das enzimas é maior na camada superficial do solo e especificamente a enzima fosfatase ácida teve maior atividade no tratamento com adubação mineral. A fosfatase alcalina tiveram maior atividade no tratamento com 6 Mg ha^{-1} de cama de aves. A atividade da enzima β-glicosidase não teve diferença entre adubação mineral e os tratamentos com cama de aves e a enzima urease mostrou maior atividade nas doses de 6 e 9 Mg ha^{-1} de cama de aves.

O rendimento de grãos de soja proveniente das doses de cama de frango é similar a adubação mineral, evidenciando a cama de frango como uma alternativa eficaz e sustentável de fertilizante para a cultura da soja. A menor dose de 3 Mg ha^{-1} de cama de frango é capaz de promover o mesmo rendimento de grãos da adubação mineral.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BIBLIOGRAFIA

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. London: Academic Press, 1995. 420 p.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. *In:* ARAÚJO, A. P. *et al*. **Tópicos em Ciência do Solo**, 2013. v. VIII. p.221-278.

BOTEGA, J. L. **Compostagem E Caracterização Físico-Química De Substrato De Cama De Aviário: Estudo De Caso.** 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

CAMPOS, A. V. **Cama de aviário como fertilizante na produção de soja e milho.** 2022. 38 f. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2022.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p. 601-606, 1988.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Frangos abatidos. 2024. Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/frangos-abatidos/br>

MARISCAL-SANCHO, I.; BALL, B.; McKENZIE, B. Influence of tillage practices, organic manures and extrinsic factors on glucosidase activity: the final step of cellulose hydrolysis. **Soil Systems**, v.2. 2018.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. M.; SOUSA, D. M. G.; LOPES, A. A. C.; REIS JUNIOR, F. B.; LACERDA, M. P.C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: the FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019.

SOBUCKI, L.; RAMOS, R. F.; ANTONIOLLI, Z. I.; MEIRELES, L. A.; JACQUES, R. J. S. Contribution of enzymes to soil quality and the evolution of research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.45, e0210109, 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CONSTANTE DE MICHAELIS-MENTEN (Km) DA ATIVIDADE DE -GLICOSIDASE EM UM ESPODOSSOLO DO SUL DO BRASIL.

Alexandre Bertoldo da Silva[1*], Miguel Ribeiro de Castro da Silva[2], Glaciela Kaschuk[2]

(1) Parte do projeto de doutorado do primeiro autor. Programa de Pós-graduação em Ciência do solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.; (2) Iniciação Científica DSEA/UFPR; (*) alexandre.bertoldo@ufpr.br

RESUMO

A atividade de β-glucosidase do solo é determinada pela produção de p-nitrofenol a partir de p-nitrofenil. Usualmente, a reação é feita com 50 mM de p-nitrofenil, sem considerar o Km (constante de Michaelis-Menten, concentração de substrato com máxima velocidade de reação) desta enzima no solo. O objetivo deste estudo foi determinar o Km de um espodossolo para otimizar a concentração do substrato do ensaio de atividade da β-glucosidase. Os ensaios foram feitos com 15 soluções padrões do substrato p-nitrofenil-β-D-glicopiranosídeo [Sn] variando entre 0,20 e 3,20 mM, e os resultados de p-nitrofenol foram ajustados por regressão não linear. O Km determinado foi de 0,45 mM. A literatura recomenda que a concentração do substrato seja cinco vezes o Km. Então, a concentração ideal do p-nitrofenil para este espodossolo é de 11 mM. A determinação de Km pode reduzir custos e aumentar a confiabilidade das determinações de atividade enzimática.

PALAVRAS-CHAVE: enzimas; atividade; solo; Michaelis-Menten.

INTRODUÇÃO

As atividades das enzimas β-glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida são amplamente utilizadas como bioindicadoras da saúde do solo. A incubação do solo permite que as enzimas realizem hidrólise de substratos p-nitrofenil a p-nitrofenol, e este é medido por espectrofotometria. Na metodologia proposta por Tabatabai e Bremner (1969), recomendou-se uma concentração de substrato equivalente a cinco vezes a constante de Michaelis-Menten (K_m). No entanto, a adoção fixa de 50 mM de substrato tornou-se padrão universal (MARGENOT *et al*., 2018), sem a determinação prévia do K_m específico. O problema é que a concentração do substrato influencia diretamente na cinética da reação enzimática (CORNISH-BOWDEN, 2012). Os laboratórios podem estar gastando mais ou menos reagentes do que o necessário durante as incubações, ou obtendo resultados muito pouco precisos da atividade enzimática do solo.

Este estudo propõe uma rotina laboratorial simplificada para determinar o Km de amostras de solo, baseada na metodologia original de Tabatabai e Bremner (1969) e seus aprimoramentos (IRVING e COSGROVE, 1976; VUONIREN, 1992; TABATABAI, 1994; ELSGAARD *et al*., 2002; GIANFREDA e RUGGERO, 2006; MARGENOT *et al*., 2018; WADE *et al*., 2021). O objetivo é reduzir erros analíticos e custos experimentais, ajustando a concentração do substrato às características específicas de cada solo.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram retiradas de um perfil de espodossolo, no Parque Estadual do Palmito, no litoral do Paraná (25°34’58”S e 48°31’60”W). Os procedimentos de incubação para determinação enzimática da β-glicosidase neste espodossolo foram realizados conforme métodos tradicionais, porém com a correção de matriz (TABATABAI, 1994). Porém, para a determinação do K_m desta enzima neste solo, foram preparadas 15 soluções padrão com concentrações do substrato *p-nitrofenol-β-D-glicopiranosídeo* [S_n] variando entre 0,20 e 3,20 mM. A determinação da atividade enzimática da β-glicosidase foi conduzida utilizando uma solução-tampão ajustada para pH 6,0, com um tempo de reação de 10 minutos à

temperatura controlada de 37 °C. Todas as soluções e frascos reacionais contendo as amostras de solo foram previamente incubados a 37 °C por 30 minutos, assegurando a uniformidade térmica durante o período de incubação. O *p-nitrofenol* gerado ao longo da reação enzimática foi quantificado por espectrofotometria na região do visível a um comprimento de onda de 401 nm, utilizando um espectrofotômetro de varredura UV-Vis KAWAZAKI IL-593. Para minimizar possíveis interferências da matriz da amostfa, a calibração instrumental foi realizada pelo método de Adição Padrão de Pontos Múltiplos, no qual uma alíquota da amostra é adicionada em cada ponto da curva (DA SILVA e KASCHUK, 2025).

O valor de K_m foi calculado através de três métodos de correlação. A rotina Solver do Microsoft Excel foi utilizada para a correlação não linear da curva gerada pelas diferentes concentrações de substrato $[S_n]$ e os valores medidos das velocidades iniciais (V_0) para cada uma dessas concentrações ($V_0x[S]$). Nessa rotina Solver, o K_m é calculado como a interpolação dos dados correspondentes à metade da velçocidade máxima estimada pelo modelo. Para comparar o valor de K_m calculado pela regressão não linear, foram usadas as linearizações da equação de Michaelis-Mentes pelo duplo recíproco $1/V_0$ x $1/[S]$ (Lineweaver-Burk) e $[S]/V_0$ x $[S]$ (Hanes-Woolf).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados das velocidades iniciais medidas em função de cada uma das concentrações de substrato usadas no estudo ($V_{experimental}$), os respectivos valores preditos pelo modelo de regressão não-linear ($V_{predito}$), resíduos ao quadrado e desvios-padrão. Os gráficos gerados com os dados da Tabela 1 são apresentados nas Figuras 1(a e b) e 2(a e b).

A recomendação inicial para a concentração de substratos no ensaio de atividade enzimática, utilizando o método de hidrólise enzimática de substratos *p-nitrofenil*, baseia-se no fator de 5 x K_m (TABATABAI e BREMNER, 1969, 1971; TABATABAI, 1994), o que equvale a aproximadamente 83% da velocidade inicial máxima (CORNISH-BOWDEN, 2013). Com base nos primeiros estudos sobre essa metodologia, foi estabelecido um valor médio de concetração de substrato de 50 mM, que se consolidou como referência na literatura. No entanto, pesquisas mais recentes demonstraram que o valor de K_m pode variar significativamente entre diferentes tipos de solo (MARGENOT *et al*., 2018), o que pode influenciar a concentração ideal de substrato para essa técnica.

No presente estudo, os valores de K_m calculados por três métodos matemáticos distintos foram bastante semelhantes (K_m = 0,45 mM). Com base nesse resultado, a concentração de subtrato ideal para o ensaio de atividade enzimática da β-glicosidase neste solo específico é de aproximadamente 11 mM, ou seja, cinco vezes menor do que a recomendação universal de 50 mL para o ensaio.

Tabela 1. Velocidades iniciais experimentais e preditas pelo mpodelo de regressão não-linear em função das concentrações de substrato *p-nitrofenol-β-D-glicopiranosídeo*.

S_n	[S] (mM)	$V_{0(experimental)}$ (μmol.min^{-1})	$V_{0(predito)}$ (μmol.min^{-1})	Desvio-padrão ($V_{0(experimental)}$)
S1	**0,20**	**0,011216**	**0,010764**	**0,000306**
S2	0,30	0,013564	0,013980	0,000807
S3	**0,40**	**0,015753**	**0,016435**	**0,000726**
S4	0,50	0,018740	0,018371	0,000795
S5	0,60	0,019485	0,019936	0,000121
S6	0,70	0,021947	0,021228	0,001191
S7	0,80	0,022902	0,022313	0,000813
S8	0,90	0,023538	0,023236	0,000784
S9	**1,00**	**0,024028**	**0,024032**	**0,000598**
S10	1,20	0,025039	0,025333	0,000637
S11	**1,60**	**0,025757**	**0,027171**	**0,000536**
S12	2,00	0,028944	0,028408	0,001068
S13	**2,40**	**0,029376**	**0,029298**	**0,000903**
S14	2,80	0,030162	0,029968	0,001660
S15	**3,20**	**0,030544**	**0,030491**	**0,000523**

Nota: Os valores em negrito sublinhados correspondem aos usados para a simplificação do método de determinação do K_m de solos, usando apenas 6 pontos da curva original.

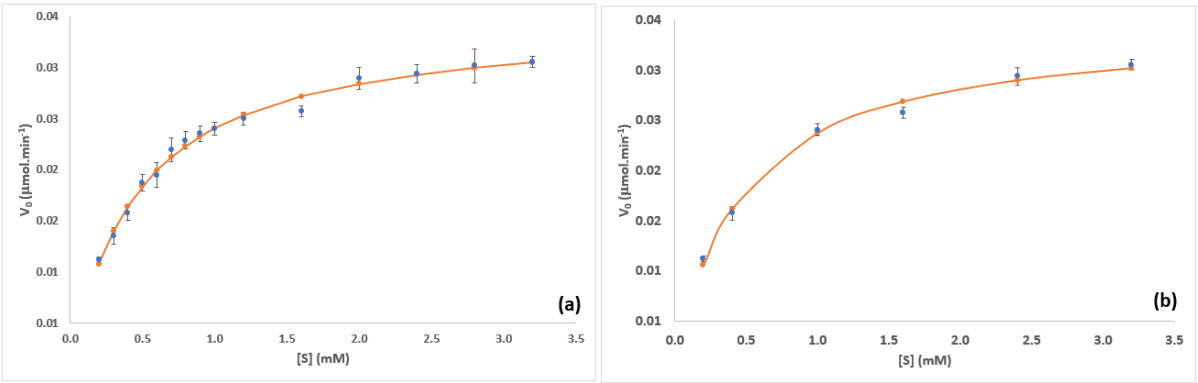


Figura 1. Regressão não-linear da relação das velocidades iniciais (V_0) em função das concentrações de substrato *[S]*. (a) Curva completa com 15 pontos (K_m = 0,45 mM); (b) Curva simplificada com 6 pontos (K_m = 0,45 mM).

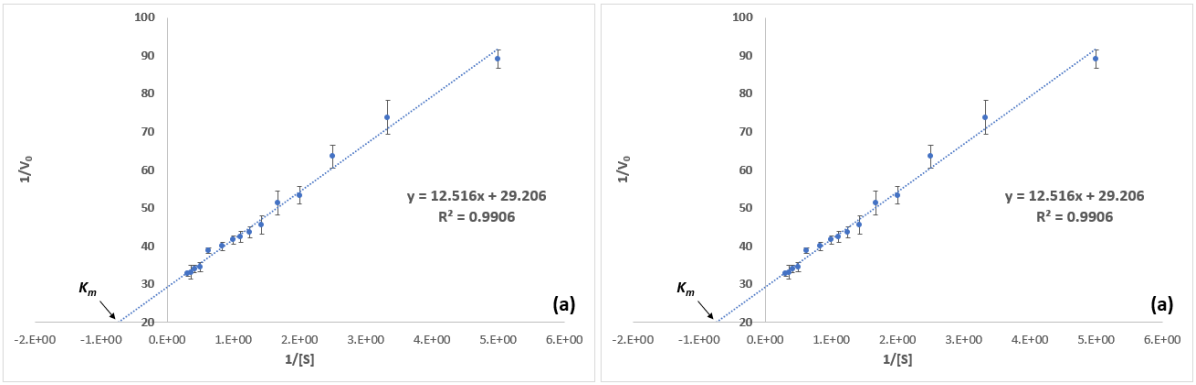


Figura 2. Linearizações de (a) Lineweaver-Burk (K_m = 0,43 mM) e (b) Hanes-Woolf (K_m = 0,45 mM).

CONCLUSÕES

Os resultados confirmam a previsão da literatura de que os valores prático de K_m podem ser importantes para determinar com precisão a concentração ideal de substrato a ser usada em cada ensaio de determinação da atividade enzimática do solo. Esse valor de K_m pode variar bastante dos valores aceitos como universais e pode depender das condições naturais de cada classe de solo ou mesmo para cada tipo de amostra. Além de garantir a relação *[S] = 5 x* K_m, como pressupostoinicial do método, essa redução de substrato pode introduzir considerável redução de custos de análise, principalmente em relação à aquisição de substratos *p-nitrofenil*.

BIBLIOGRAFIA

CORNISH-BOWDEN, A. **Fundamentals of enzyme kinetics**. 4ª ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag, 2013.

DA SILVA, A. B.; KASCHUK, G. Soil matrix affects the determination of p-nitrophenol and the estimation of β-glucosidase, arylsulfatase, and acid phosphatase activities in subtropical soils. **Pedobiologia**, v. 110, n. 151050, p. 151050, 2025. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2025.151050>. .

ELSGAARD, L.; ANDERSEN, G. H.; ERIKSEN, J. Measurement of arylsulphatase activity in agricultural soils using a simplified assay. **Soil biology & biochemistry**, v. 34, n. 1, p. 79–82, 2002.

GIANFREDA, L.; RUGGERO, P. Enzyme activities in soil. Em: NANNIPIERI, P.; SMALLA, K. **Nucleic Acids and Proteins in Soil**. Springer, Berlin, p. 257-311, 2006.

IRVING, G. C. J.; COSGROVE, D. J. The kinetics of soil acid phosphatase. **Soil biology & biochemistry**, v. 8, n. 5, p. 335–340, 1976.

MARGENOT, A. J.; NAKAYAMA, Y.; PARIKH, S. J. Methodological recommendations for optimizing assays of enzyme activities in soil samples. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 125, p. 350-360, 2018.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. Em: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.;

TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Eds.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Soil Science Society of America, 1994.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology Biochemistry**, v. 1, p. 301-307, 1969.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Michaelis constants of soil enzymes. **Soil biology & biochemistry**, v. 3, n. 4, p. 317–323, 1971.

VUORINEN, A. H. Requirement of p-nitrophenol standard for each soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 2, p. 295-296, 1993.

WADE, J.; LI, C.; VOLLBRACHT, K.; *et al*. Prescribed pH for soil β-glucosidase and phosphomonoesterase do not reflect pH optima. **Geoderma**, v. 401, n. 115161, p. 115161, 2021.

A MATRIZ DO SOLO AFETA A DETERMINAÇÃO DO P-NITROFENOL E A ESTIMATIVA DAS ATIVIDADES DE β-GLICOSIDASE, ARILSULFATASE E FOSFATASE ÁCIDA EM SOLOS SUBTROPICAIS.

Alexandre Bertoldo da Silva[1*], Glaciela Kaschuk[2]

[(1)]Programa de Pós-graduação em Ciência do solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.; [(2)] Professora PPGCS/UFPR.

[(*)]alexandre.bertoldo@ufpr.br

RESUMO

A atividade enzimática do solo é um indicador sensível da sua qualidade. As atividades das enzimas β-glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida são estimadas por meio da quantificação do *p-nitrofenol* como produto da degradação de substratos de p-nitrofenil durante a incubação do solo. O *p-nitrofenol* pode interagir com a matriz do solo, levando a subestimações na determinação da atividade enzimática. Este estudo investigou os efeitos da matriz do solo na determinação do *p-nitrofenol* e suas consequências na estimativa da atividade enzimática. Foram coletadas amostras de solo de 18 locais no Paraná, abrangendo diferentes classes de solo. Três curvas de calibração foram testadas: Padrão Externo de Múltiplos Pontos, Adição Padrão de Múltiplos Pontos e Adição Padrão de Ponto Único. Os resultados e a análise de componentes principais indicaram que o efeito da matriz do solo está associado à presença de argila e matéria orgânica, reduzindo a disponibilidade do *p-nitrofenol* para detecção espectrofotométrica

PALAVRAS-CHAVE: Enzimas; atividade; solo; Michaelis-Menten.

INTRODUÇÃO

As enzimas do solo desempenham um papel fundamental na dinâmica dos ecossistemas e entre as diversas enzimas estudadas, β-glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida são amplamente utilizadas para monitoramento da qualidade do solo (MENDES *et al*., 2019). Elas atuam, respectivamente, nos ciclos do carbono, enxofre e fósforo, e suas atividades podem ser quantificadas por meio da conversão de substratos de *p-nitrofenil* em *p-nitrofenol*, cuja absorbância pode ser medida por espectrofotometria (TABATABAI, 1994; NANNIPIERI *et al*., 2012; SOBUCKI *et al*., 2021). A determinação precisa dessas atividades pode ser afetada pela matriz do solo, pois o *p-nitrofenol* gerado pode ser adsorvido por componentes como argila e matéria orgânica, levando à subestimação dos valores enzimáticos (SILVA, 2024).

A forma mais comum de calibração espectrofotométrica para essa análise é usando a curva de Padrão Externo de Múltiplos Pontos (PE), que assume a inexistência de interações entre o *p-nitrofenol* e a matriz do solo (TABATABAI e BRAMNER, 1969). No entanto, a adsorção do *p-nitrofenol* pode comprometer essa suposição, resultando em leituras imprecisas (VUORINEN, 1993; GIANFREDA *et al*., 2006; MARGENOT *et al*., 2018). Para minimizar esse efeito, pode-se utilizar o método de calibração de Adição Padrão de Múltiplos Pontos (AP), que incorpora a matriz do solo nos padrões de calibração, corrigindo a interferência na absorbância (HARRIS *et al*., 2023). Além disso, a curva de Adição Padrão de Ponto Único (PU), derivada daquela de pontos múltiplos, surge como uma alternativa simplificada, reduzindo custos e esforço analítico sem comprometer a precisão dos resultados (SKOOG *et al*., 2014).

Este estudo investiga o impacto da matriz do solo na determinação do *p-nitrofenol* e sua influência na estimativa das atividades de β-glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida. O objetivo é aprimorar os procedimentos analíticos para quantificação das atividades dessas enzimas, avaliando estratégias para minimizar erros associados à adsorção do p-nitrofenol e proporcionando maior precisão na interpretação dos resultados para diagnóstico da saúde do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de amostras de solo foi realizada em 18 localidades das regiões do Planalto e Litoral do Paraná, Brasil (22°30'58"S e 26°43'00"W), abrangendo diferentes classes de solo com variações em fertilidade, drenagem e teor de matéria orgânica. As amostras foram coletadas na camada de 0 a 10 cm, secas ao ar, peneiradas (< 2 mm) e armazenadas em recipientes plásticos. Detritos orgânicos e fragmentos de raízes foram removidos para evitar interferências analíticas.

A caracterização físico-química das amostras seguiu procedimentos padronizados pela Embrapa (TEIXEIRA *et al*., 2017). Para a determinação da atividade enzimática, amostras de 500 mg de solo seco ao ar foram incubadas em solução tampão ajustada a pH 6,0, 5,8 ou 6,5, conforme a enzima avaliada. Foram adicionados substratos específicos: β-glicosidase (0,025 mol L^{-1} *p-nitrofenil-β-D-glicopiranosídeo*), arilsulfatase (0,050 mol L^{-1} *p-nitrofenil sulfato*) e fosfatase ácida (0,050 mol L^{-1} *p-nitrofenil fosfato*). A incubação ocorreu em tubos Falcon de 50 mL a 37 °C por 60 minutos, com pré-aquecimento das soluções por 30 minutos antes do início das reações. Após a incubação, soluções de terminação foram adicionadas a cada frasco, de acordo com a metodologia proposta por Tabatabai (1994) para cada uma das três enzimas. As amostras foram centrifugadas a 5.000 rpm por 10 minutos a 20 °C, e as medições de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro KAWAZAKI IL-593.

As curvas de calibração de padrões externos foram preparadas usando concentrações conhecidas de *p-nitrofenol* e os demais reagentes usados para a incubação das amostras e desenvolvimento de cor. As curvas de calibração de adição padrão foram preparadas adicionando-se 500 mg de cada uma das amostras a cada uma das soluções da curva, de maneira a submeter concentrações conhecidas de p-nitrofenol às eventuais interferências das matrizes das amostras. As absorbâncias de todas as soluções foram medidas a 401 nm, e as estimativas da atividade enzimática foram obtidas por regressão linear. Foi utilizado o teste t-pareado para testar os resultados das atividades enzimáticas das amostras usando as três curvas de calibração utilizadas no estudo. Já a magnitude do efeito da matriz do solo foi avaliada por análise de componentes principais e correlação entre os atributos físico-químicos do solo e as diferenças entre os métodos de calibração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que o uso da curva de padrões externos (PE) subestimou as atividades enzimáticas, provavelmente devido à adsorção do *p-nitrofenol* à matriz do solo. A calibração por adição padrão (AP) minimizou essa interferência, como demonstrado pelos dados da Tabela 1, que apresentam os resultados obtidos pelos dois métodos para o conjunto de amostras analisadas. As estimativas obtidas a partir das curvas de calibração específicas para cada amostra foram consistentemente superiores às geradas pela curva de padrões externos. Além disso, os valores obtidos por meio da calibração de adição padrão de ponto único (PU), selecionado dentre os pontos da curva de adição de múltiplos pontos, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação aos resultados obtidos com a calibração de adição padrão de múltiplos pontos.

A Análise de Componentes Principais (Figura 1), revelou que a magnitude do efeito da matriz do solo está diretamente relacionada à textura e ao teor de matéria orgânica. Solos mais argilosos e ricos em matéria orgânica apresentaram maiores diferenças entre os métodos de calibração (maior efeito matriz), enquanto solos arenosos foram menos afetados.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

Tabela 1. Algumas características físico-químicas e atividades enzimáticas das amostras de solo estudadas.

Amostra	M.O. (g.kg^{-1})	Argila (%)	Areia (%)	β-glicosidase (µg pNF.g^{-1}.h^{-1})			Arilsulfatase (µg pNF.g^{-1}.h^{-1})			Fosfatase ácida (µg pNF.g^{-1}.h^{-1})		
				PE	AP	PU	PE	AP	PU	PE	AP	PU
A1	27,4	6,51	79,9	20,2	28,0	27,8	76,0	81,2	82,7	283	314	232
A2	26,4	7,90	78,0	12,7	19,0	18,2	11,4	13,8	12,7	70,2	75,6	73,7
A3	50,9	30,5	4,48	27,3	46,7	44,9	211	260	264	428	565	591
A4	51,1	47,6	4,81	52,8	98,0	97,3	788	931	923	987	1230	1230
A5	30,4	29,6	44,1	45,0	48,6	18,9	103	106	106	433	450	470
A6	67,9	61,9	2,73	78,9	118	120	778	838	824	1100	1310	1270
A7	50,2	43,1	28,2	65,3	90,0	85,3	515	531	535	992	1130	1150
A8	40,6	24,7	2,95	55,8	74,4	74,6	609	669	678	533	623	647
A10	45,9	51,5	23,7	70,9	93,8	93,4	231	244	246	702	791	792
A11	29,2	35,5	38,0	29,1	44,3	41,9	141	147	145	320	373	378
A12	52,0	53,8	18,3	76,6	118	117	511	582	586	794	982	991
A13	27,5	14,9	66,5	28,8	35,9	36,0	139	142	143	286	311	324
A14	33,4	33,0	38,2	41,1	53,4	52,9	174	180	167	476	520	529
A19	50,7	42,8	32,1	77,8	102	104	422	456	466	726	820	839
A20	46,7	53,4	17,5	60,1	75,9	77,0	123	132	133	556	643	601
A23	59,0	48,6	23,4	96,9	134	131	501	536	535	907	1450	1440
A28	149,5	60,9	0,18	39,1	119	125	182	245	242	1490	2160	2080
A30	141,1	58,2	4,18	48,6	114	124	161	192	193	685	880	889

Notas: O valor de $t_{calculado}$ para as diferenças médias da β-glicosidase entre PE e AP foi de 5,476 (p<0,05; $t_{tabelado}$ 1,740) indicando diferença significativa dos resultados obtidos pelas duas curvas de calibração; as diferenças de resultados entre AP e PU apresentaram $t_{calculado}$ de 0,442 (p<0,05; $t_{tabelado}$ 1,740) indicando não haver diferença significativa entre os dois métodos de calibração. Para arilsulfatase o $t_{calculado}$ das diferenças entre PE e AP foi de 3,923 (p<0,05; $t_{tabelado}$ 1,740) indicando haver diferença significativa entre os métodos de calibração; as diferenças de resultados entre AP e PU apresentaram $t_{calculado}$ de 0,171 (p<0,05; $t_{tabelado}$ 1,740) indicando não haver diferença significativa entre os dois métodos de calibração. Por fim, para a arilsulfatase o $t_{calculado}$ das diferenças entre PE e AP foi de 3,771 (p<0,05; $t_{tabelado}$ 1,740) indicando haver diferença significativa entre os métodos de calibração; as diferenças de resultados entre AP e PU apresentaram $t_{calculado}$ de 0,085 (p<0,05; $t_{tabelado}$ 1,740) indicando não haver diferença significativa entre os dois métodos de calibração.

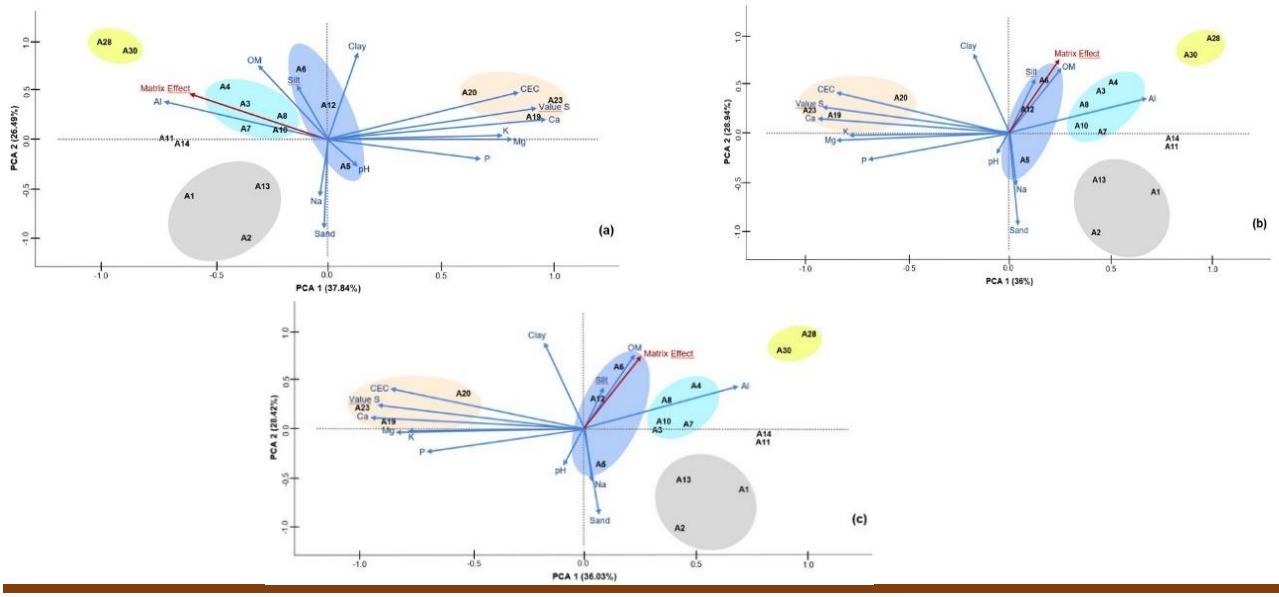


Figura 1. Regressão não-linear da relação das velocidades iniciais (V_0) em função das concentrações de substrato *[S]*. (a) Curva completa com 15 pontos (K_m = 0,45 mM); (b) Curva simplificada com 6 pontos (K_m = 0,45 mM).

CONCLUSÕES

Os resultados confirmam que a matriz do solo afeta significativamente a determinação do *p-nitrofenol* e, consequentemente, a estimativa da atividade enzimática. O efeito é mais pronunciado em solos com alto teor de argila e matéria orgânica. A curva de Adição Padrão de Ponto Único (PU) mostrou-se uma abordagem eficaz para minimizar o efeito da matriz do solo, permitindo uma estimativa mais precisa das atividades enzimáticas

BIBLIOGRAFIA

GIANFREDA, L.; RUGGERO, P. Enzyme activities in soil. Em: NANNIPIERI, P.; SMALLA, K. **Nucleic Acids and Proteins in Soil**. Springer, Berlin, p. 257-311, 2006.

HARRIS, D. C. **Quantitative Chemical Analysis**, 10ª ed. Clancy Marshall, New York, 2023.

MARGENOT, A. J.; NAKAYAMA, Y.; PARIKH, S. J. Methodological recommendations for optimizing assays of enzyme activities in soil samples. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 125, p. 350-360, 2018.

MENDES, I. C.; SOUZA, D. J. M. G.; BUENO, R. J. F.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, L. M.; CHAER, G. M. Bioanálise do solo: aspectos teóricos e práticos. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 10, p. 1-64, 2019.

NANNIPIERI, P.; GIAGNONI, L.; RENELLA, G.; PUGLISI, E.; CECCANTI, B.; MASCIANDARO, G.; FORNASIER, F.; MOSCATELLI, M. C.; MARINARI, S. Soil enzymology: classical and molecular approaches. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, p. 743-762, 2012.

SILVA, A. B. **Determinação de p-nitrofenol e atividade enzimática em solos de diferentes classes do Estado do Paraná**. 2024. 62 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2024.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica – tradução 9ª ed. norte-americana**. Cengage Learning, São Paulo, 2014.

SOBUCKI, L.; RAMOS, R. F.; MEIRELES, L. A.; ANTONIOLLO, Z. I.; JACQUES, R. J. S. Contribution of enzymes to soil quality and the evolution of research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. Em: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Eds.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Soil Science Society of America, 1994.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology Biochemistry**, v. 1, p. 301-307, 1969.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília (DF): Embrapa Solos, 2017

VUORINEN, A. H. Requirement of p-nitrophenol standard for each soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 2, p. 295-296, 1993.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVALIAÇÃO DOS FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES (FMA) E DA GLOMALINA EM UM SOLO AGRÍCOLA COM E SEM TERRAÇOS

Amanda Eustachio Pereira[1], Ana Samily de Oliveira Souza[2], Jean Evens Alcinat[3], Francielli Gasparotto[4], Edneia Aparecida de Souza Paccola[5]*

[1]Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, PR, Brasil. Bolsista CAPES. [2, 3]Mestranda (o) da Pós graduação em Tecnologias Limpas, Unicesumar, PR, Brasil; [4,5]Docentes Drª. no Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Unicesumar, PR, Brasil; Pesquisadoras do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; docentes do Curso de Agronomia Unicesumar. edneia.paccola@unicesumar.edu.br*

RESUMO

Avaliou-se no estudo a quantidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), a presença da proteína glomalina facilmente extraível (GFE) e a glomalina total (GT) em área agrícola. A área experimental foi dividida em duas megaparcelas: sem (ST) e outra com terraços (CT). As amostras de solo coletado para quantificação dos FMAs foram pelo peneiramento úmido e o método para detecção da GFE e GT descrito por Wright e Upadhyaya (1996). Foi possível verificar que os FMAs na mega CT apresentou 169 esporos em comparação 100 esporos na área ST. No estudo da GFE quando avaliada apresentou 0,905 mg g^{-1} na mega CT e a ST com 0,445 mg g^{-1}. Entretanto no estudo da GT presente na mega ST (2,59 mg g^{-1}) apresentou melhores médias em relação a CT (1,80 mg g^{-1}). A baixa quantidade de esporos de fungo e concentração de glomalina podem comprometer a qualidade do solo agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: glomalina facilmente extraível; glomalina total; Latossolo Vermelho Distrófico; manejo conservacionista

INTRODUÇÃO

Um dos problemas que podem desequilibrar o solo é a erosão, causada através da exposição do solo ao contato direto com as gotas de chuva e as enxurradas, as quais são responsáveis pela remoção dos nutrientes depositados e da diminuição da atividade microbiana neste solo (WADT, 2003).

Os microrganismos desempenham funções importantes no solo, geralmente são encontrados em maior número perto das raízes das plantas na região conhecida como rizosfera, onde há conteúdo de compostos orgânicos exsudados pelas raízes (MASSENSINI *et al.*, 2014). Os maiores componentes da microbiota do solo são os fungos micorrizicos arbusculares (FMAs) os quais possuem capacidade de realizar simbiose com as raízes de plantas (JAYACHANDRAN e SHETTY, 2003).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) secretam glomalina no solo por meio da exsudação pelas hifas, conferindo um efeito hidrofóbico aos agregados, o que contribui para protegê-los contra processos extremos de secagem e umedecimento. Além disso, a glomalina é depositada ao solo após a decomposição dos FMA (RILLIG, 2004).

A hipótese deste estudo é que a presença de terraços em um solo agrícola pode promover um aumento na infiltração de água e preservação da matéria orgânica, o que pode resultar em maior atividade dos FMAs liberando a proteína glomalina e consequentemente acumulando glomalina total ao longo do tempo, melhorando a estrutura do solo para as plantas.

Assim, compreender o comportamento do solo e os impactos do manejo é essencial para a adoção de estratégias que garantam a sustentabilidade da produção agrícola. Este estudo avaliou a quantidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), a presença da proteína glomalina facilmente extraível e a glomalina total na rizosfera de uma área agrícola com e sem terraços. Avaliou-se no estudo a quantidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), a presença da proteína glomalina facilmente extraível (GFE) e a glomalina total (GT) em área agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo ocorreu em Cianorte/PR, em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média e declividade de 6%, originado do arenito Caiuá (VIANA *et al*., 2011). A área experimental foi dividida em duas megaparcelas de 2 ha: uma sem terraços e outra com terraços de 0,5 a 0,7 metros de altura, espaçados horizontalmente entre 25 e 35 metros, visando controlar a infiltração e reduzir o escoamento superficial da água. Foram coletadas amostras de solo em 36 pontos georreferenciados por megaparcela (com e sem terraço), na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Após a coleta, as amostras foram analisadas no Laboratório de Análises Agronômicas (AGROLAB), para a quantificação dos esporos do FMAs foi realizada utilizando o método de peneiramento úmido com centrifugação em água e suspensão de sacarose 50% (GERDEMANN & NICOLSON, 1963). Para verificar a concentração da glomalina facilmente extraível (GFE) com uma vez autoclavado e a glomalina total (GT) com repetição de quatro ciclos de autoclavagem, conforme descrito por Wright e Upadhyaya (1996). Os dados foram analisados pelo software Sisvar, utilizando o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na quantificação dos esporos dos FMAs a megaparcela com terraço apresentou uma média de 169 esporos, em comparação com a média de 100 esporos na área sem terraço, evidenciando uma diferença estatistica significativa (Figura 1).

A megaparcela ST (Sem Terraço) apresentou uma menor densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em comparação com a megaparcela CT (Com Terraço). Os estudos de Winagraski *et al*. (2019) destacam que a quantidade e diversidade de esporos de fungos estão relacionadas ao tempo desde a implantação da área, às práticas de manejo adotadas e ao tipo de cultura cultivada.

Trabalhos realizado por Colozzi Filho *et al*., (1999) também indicaram que a ocorrência de esporos é maior em áreas sob plantio direto do que em área com plantio convencional. Práticas como aração e gradagem, pode comprometer a integridade da rede de hifas e reduzir o potencial de inóculo dos Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) (KABIR, 2005).

A Glomalina facilmente extraível é considerada a fração que está disponível para interações imediatas no solo. Quando avaliada apresentou uma média no tratamento CT de 0,905 mg g^{-1} e a ST de 0,445 mg g^{-1} obtendo diferença significativa entre os dois tratamentos (Figura 2). Dados que podem ser justificados pela quantidade de esporos encontrados em número maior na megaparcela CT do que na ST o que pode ter contribuido para alta concentração também na glomalina. Trabalhos como os de Sarapatka *et al*. (2019) e Fokom *et al*. (2012), estabelecem correlações entre a concentração de GFE ao teor de carbono orgânico total (COT) e a quantidade de fungos micorrízicos Arbusculares (FMAs), onde a maior número de esporos tende a uma maior concentração de GFE. Compreende-se como glomalina total (GT) a quantidade completa da glomalina presente no solo, o que inclui a fração GFE quanto a fração mais resistente e estável. Nesse estudo a GT presente na megaparcela ST (2,59 mg g^{-1}) apresentou melhores médias em relação a CT (1,80 mg g^{-1}), tendo diferença significativa entre os tratamentos (Figura 3).

Estudos sugerem que a presença e permanência da glomalina no solo são principalmente devido à sua liberação durante a decomposição das hifas e esporos desses fungos (MORALES *et al*., 2005). O que pode explicar a maior concentração de GT na megaparcela ST, seria o revolvimento do solo no incio do projeto, quanto na reforma da área resultando na maior morte dos FMAs, consequentimente maior liberação de glomalina no solo.

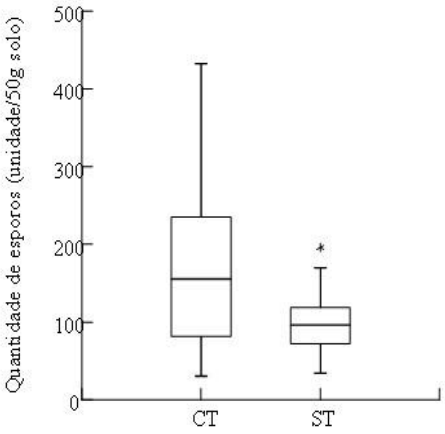


Figura 1. Resultados do número de esporos de FMAs em 50 g de solo na profundidade 0-10 cm em megaparcela com terraço e na megaparcela sem terraço (P < 0,05).

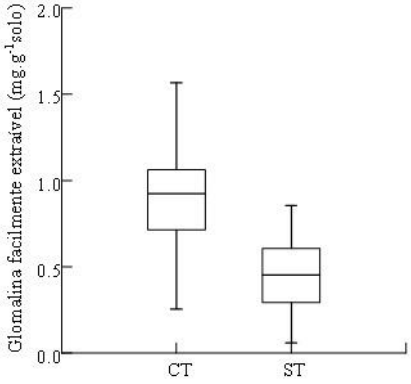


Figura 2. Comparação das médias da glomalina facilmente extraível (GFE) do solo das megaparcela com (CT) e sem terraço (ST) solo expresso em mg/g^{-1} (P < 0,05).

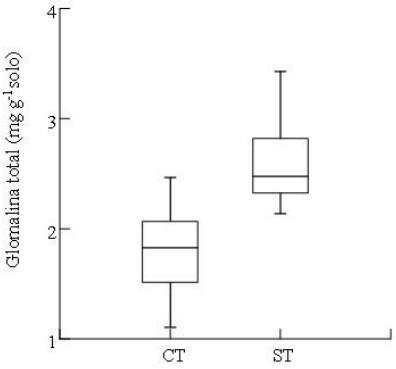


Figura 3. Comparação das médias da glomalina total (GT) do solo da megaparcela com terraceamento e sem terraceamento expresso em mg g^{-1} (P < 0,05).

CONCLUSÕES

Vale ressaltar a presença dos FMAs e da glomalina facilmente extraível no solo das áreas com o terraço, evidenciando que manejo correto no solo influência a atividade microbiana no solo. A avaliação contínua da

área de estudo é crucial para desenvolver estratégias que visem melhorar a qualidade do solo e criar um ambiente mais saudável e sustentável.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária/SENAR-PR/SETI-PR pelo apoio financeiro ao projeto. À CAPES pela concessão da bolsa à primeira autora deste estudo, que possibilitou a realização desta pesquisa. Ao ICETI pelo apoio financeiro por meio da bolsa de produtividade, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. S. **Microrganismos e processos biológicos no Sistema Plantio Direto**., Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. p. 487-508.

FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M.C.; BOYOGUENO, A.B.; NANA, W.L.; NGONKEU, M.E.L; ZOLLO, P.A.

Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Pesquisa de Solo e Cultivo** , *120* , 69-75, 2012.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British **Mycological Society**, 46: 235-244. 1963.

JAYACHANDRAN, K.; SHETTY, K. G. Growth response and phosphorus uptake by arbuscular mycorrhizae of wet prairie sawgrass. **Botânica Aquática**, v.76, p.281-290, 2003.

KABIR, Z. Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. **Canadian Journal of Plant Science, Ottawa**, v. 85, n. 1, p. 23-29, 2005.

MORALES, A., CASTILLO, C., RUBIO, R., GODOY, R., ROUANET, J.L.; BORIE, F. MUÑOZ-ROJAS, M; ERICKSON, T. E; MARTINI, D; DIXON, K. W; MERRITT, D. J. Soil physicochemical and microbiological indicators of short, medium and long term post-fire recovery in semi-arid ecosystems. **Ecol Indic,** v. 63, p. 14-22, 2016.

NICHOLS, K. A.; WRIGHT, S. F. **Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. Soil Science, Baltimore,** v. 170, p. 985–997, 2005. ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: Guanabara, 1989.

PURIN, S.; RILLIG, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, 51:123-130, 2007.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation, **Canadian Journal Soil Science**, 84, p. 355-363, 2004.

VIANA, E.T, BATISTA, M.A, TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOUE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, 35(6), 2105–2114, 2011.

WADT, P. G. S. Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. Rio Branco: **Embrapa Acre**, 2003.

WINAGRASKI, E.; KASCHUK, G.; MONTEIRO, PHR; AUER, G.; HIGA, AR Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas florestais do brasil: uma revisão. **CERNE**, v. 1, pág. 25-35, 2019.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**. v. 161, n. 8, p. 575–586, 1996.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

O TERRACEAMENTO AFETA A ABUNDÂNCIA DE ESPOROS DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO SOLO?

Anabel Alexandra Rodriguez Andachi[1*], Carlos Alberto Casali[2], Dinéia Tessaro[2], André Pellegrini[2], Vanessa Bresolin Viero[3]

[1]Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Dois Vizinhos (UTFPR-DV). anabelandachi@alunos.utfpr.edu.br.* [2]Professor de Solos da UTFPR-DV. [3]Estudante de Agronomia da UTFPR-DV.

RESUMO

O terraceamento reduz a erosão e as perdas de solo, água e nutrientes das lavouras. Isso pode influenciar a microbiologia do solo, de modo que a abundância de esporos dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pode refletir os efeitos dessa prática. O objetivo deste trabalho foi avaliar a abundância de esporos de FMAs em solos de áreas agrícolas com e sem tratamento. Em 05/2019 foram instaladas na UTFPR-DV parcelas de 1,8 ha com e sem terraços em área agrícola sob SPD há 20 anos. Em 10/2023 foi amostrado o solo na camada de 0-10 cm em 32 pontos por tratamento e uma área com floresta. Os esporos de FMAs foram extraídos por peneiramento úmido, seguida de centrifugação com solução sacarose. A quantidade de esporos FMAs variou significativamente entre os tratamentos, sendo maior no solo com terraço. Desta forma, a implementação de terraço pode influenciar positivamente na abundancia de esporos de FMAs.

PALAVRAS-CHAVE: micorrizas; terraços; conservação do solo.

INTRODUÇÃO

O terraceamento na agricultura realiza um papel crucial no controle de erosão do solo, já que diminui o comprimento da rampa de escoamento, amenizando o escoamento superficial de água. Isso, contribui para a absorção de água devido ao incremento de matéria orgânica, influenciando diretamente na comunidade microbiana do solo (Wu; Wei; Li, 2023). Em áreas sem terraço a dinâmica dos microrganismos pode ser diferente devido à maior exposição à erosão e ao escoamento superficial que carrega consigo não apenas o solo, mas também água, nutrientes, matéria orgânica e estruturas biológicas incluindo esporos FMAs (Colozzi Filho; Bertagnoli; Menoncin, 2024).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos omnipresentes que realizam uma tarefa importante nos ecossistemas terrestres (Boya; Puttaswamy; Mahadevappa, 2023). As associações simbióticas obrigatórias com a maioria dos sistemas de raízes das plantas permitem aumentar o crescimento, resistência a ataques de patógenos, tolerância a estresse hídrico e eficiência fotossintética. Além disso, os FMAs podem ter um impacto significativo na estruturação do solo (Brown; Bethlenfalvay, 1987). A presença e quantidade de esporos de FMAs pode estar influenciado por vários fatores como mudanças climáticas, disponibilidade de nutrientes e manejo do solo (Boya; Puttaswamy; Mahadevappa, 2023).

Neste contexto, a quantificação dos esporos de FMAs pode fornecer informações valiosas sobre a saúde do solo. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar a abundância de esporos de FMAs em solos de áreas agrícolas sob SPD com e sem terraceamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV), Sudoeste do Paraná (25º44'S; 53º04'O). O clima da região é classificado como subtropical úmido, tipo Cfa (Köppen), com verão fresco, temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, além de precipitação média anual de 2.010,6 mm (Alvares *et al.*, 2013). O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho e está sob manejo do sistema de plantio direto (SPD) há mais de 20 anos.

Em 2019 demarcaram-se 2 parcelas com 1,8 ha cada, sendo que uma permaneceu com terraços e a outra os terraços foram retirados. Uma área ao lado das parcelas de vegetação natural em estágio secundário foi utilizada como referência. Em outubro de 2023 amostras de solo na camada de 0-10 cm foram coletadas em 32 pontos em cada um dos tratamentos. O solo foi peneirado em malha 2,0 mm e fragmentos de animais e vegetais foram retirados manualmente e armazenado em geladeira a 4°C.

Os esporos dos FMAs foram extraídos por meio da metodologia de peneiramento úmido (Gerdemann; Nicolson, 1963), seguida de centrifugação em gradiente de densidade de sacarose (Jenkins, 1964), finalmente, a contagem direta em estereomicroscópio. Foram pesadas 50 g de solo com umidade de campo, que foram adicionadas a 1,7 L de água e agitados para desagregar os aglomerados. As amostras foram deixadas em repouso por 30 segundos e, posteriormente, vertidas no conjunto de peneiras de 0,71 mm e 0,053 mm. Este procedimento foi repetido quatro vezes.

O conteúdo da peneira de 0,053 mm foi transferido para tubos de centrífuga de 100 mL, completando-os com água até 25 mL. Em seguida, foi adicionada uma solução de sacarose a 70% (60 mL), resultando em uma solução com concentração final de 50%. As amostras foram centrifugadas por 5 minutos a 2.000 rpm. Após a centrifugação, o sobrenadante foi transferido para a peneira de 0,053 mm, que foi lavada com água corrente para remover o excesso de sacarose. O conteúdo com os esporos foi transferido para frascos tipo J. Para a contagem e identificação dos esporos, cada amostra foi transferida para uma placa de Petri. Utilizando um estereoscópio binocular (ampliação de 10x a 40x), foi realizada a contagem. O resultado foi expresso como o número de esporos por 50 g de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A identificação para a contagem dos esporos FMAs realizada no estereoscópio binocular é apresentada na Figura 1, os esporos foram reconhecidos pela morfologia oval, parede, núcleo no interior e coloração marrom (Noreen; Yaseen; Iqbal, 2023).

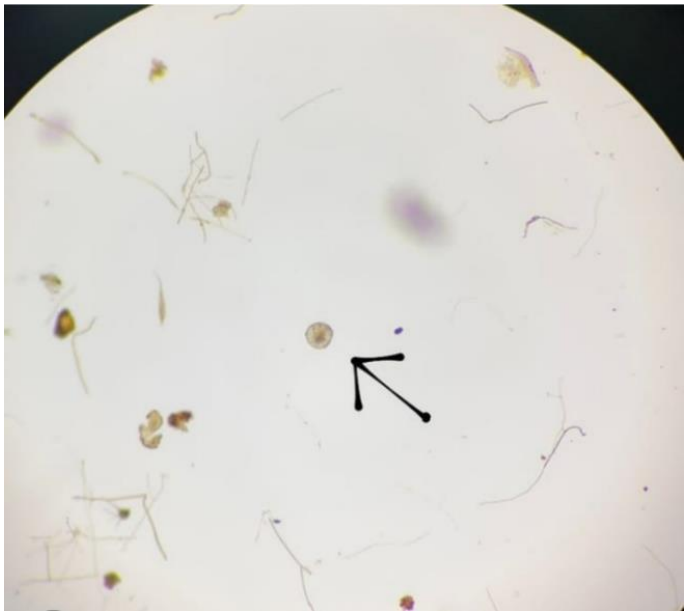


Figura 1. Esporos observados desde o estereoscópio binocular (ampliação 40x).

A quantidade de esporos de fungos FMAs revelou uma variação significativa entre os diferentes tipos de manejo do solo. A maior abundância de esporos foi observada na área florestal, seguida pelo solo com terraço e, por último, pelo solo sem terraço (Tabela 1). Os ambientes florestais, devido à sua alta diversidade

vegetal e menor perturbação antrópica, favorecem comunidades estáveis FMAs, o que pode contribuir a abundância de seus esporos no solo (Birhane; Gebretsadik; Taye, 2020).

Tabela 1. Quantidade de esporos de FMAs nos solos em áreas com terraço, sem terraço e floresta nativa no Sudoeste do PR.

Tratamento	nº de esporos x 50 g de solo
Área Sem Terraço	77 c
Área Com Terraço	169 b
Floresta nativa	492 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Solos com terraço podem reduzir o tempo de escoamento superficial o que, por sua vez pode minimizar a perda de esporos FMAs. Esse efeito foi evidenciado no estudo de Collozzi Filho *et al*. (2024), no qual o terraceamento reduziu em mais de 35% a perda de esporos de FMAs, destacando sua importância na conservação de microrganismos do solo FMAs (Colozzi Filho; Bertagnoli; Menoncin, 2024). Já o trabalho de Welemariam *et al*. (2018) comparou métodos de cultivo sem e com terraceamento, descobriram que solos com terraceamento apresentaram maior número de esporos que solos sem terraceamento, além de um maior controle de erosão.

A construção de terraceamento pode atuar como uma barreira física contra o escoamento, promovendo o aumento de matéria orgânica e maior capacidade de retenção de água o que pode impactar positivamente na produção de esporos FMAs (Colozzi Filho; Bertagnoli; Menoncin, 2024; Welemariam; Kebede; Bedadi, 2018). Nesse sentido, além dos benefícios que os terraços trazem para amenizar as perdas de solo, água e nutrientes das lavouras, o seu efeito benéfico também acontece sobre atributos microbianos do solo.

CONCLUSÕES

O terraceamento aumentou em 50% a abundância de esporos de FMAs do solo comparado a áreas sem essa prática mecânica de conservação do solo.

A análise de estudo para identificação e quantificação de esporos FMAs pode determinar informações relevantes sobre a importância de adotar por práticas agrícolas como o terraceamento para conservação do solo.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária e FAEP-Senar pelo financiamento para a realização deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C.A; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, M.J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BIRHANE, E.; GEBRETSADIK, K.F.; TAYE, G.; AYNEKULU, E.; RANNESTAD, M.M.; NORGROVE, L. Effects of Forest Composition and Disturbance on Arbuscular Mycorrhizae Spore Density, Arbuscular Mycorrhizae Root Colonization and Soil Carbon Stocks in a Dry Afromontane Forest in Northern Ethiopia. **Diversity,** v. 12, n. 4, p. 133, 2020.

BOYA, S.; PUTTASWAMY, P.; MAHADEVAPPA, N.; SHARMA, B.; OTHUMBAMKAT, R. Enumerating Indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Associated with Three Permanent Preservation Plots of Tropical Forests in Bangalore, Karnataka, India. **Bacteria**, v. 2, n. 1, p. 70–80, 2023.

BROWN, M.S.; BETHLENFALVAY, G.J. Glycine-Glomus-Rhizobium symbiosis. VI. Photosynthesis in nodulated, mycorrhizal, or N- and P-fertilized soybean plants. **Plant Physiol,** v. 85, n. 1, p. 120-23, 1987.

COLOZZI FILHO, A.; BERTAGNOLI, B. G. P.; MENONCIN, A. S. S.; OLIVEIRA, J. F.; CAMPANA, I. O.; MACHINESKI, G. S.; BARBOSA, G. M. C. Terracing Reduces Arbuscular Mycorrhizal fungi Spore Loss through Surface Runoff. **Brazilian Archives of Biology and Technology,** v. 67, 2024.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of Britsh Mycological Society**, Cambrige, v.46, p. 235-244, 1963.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugalflotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 48, p. 692, 1964.

NOREEN, S.; YASEEN, T.; IQBAL, J. Morphological and Molecular Characterizations of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Their Influence on Soil Physicochemical Properties and Plant Nutrition. **ACS Omega,** v. 8, n. 36, p. 32468–32482, 2023.

WELEMARIAM, M.; KEBEDE, F.; BEDADI, B. Effect of community-based soil and water conservation practices on arbuscular mycorrhizal fungi types, spore densities, root colonization, and soil nutrients in the northern highlands of Ethiopia. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 9, 2018.

WU, D.; WEI, W.; LI, Z.; ZHANG, Q. Coupling Effects of Terracing and Vegetation on Soil Ecosystem Multifunctionality in the Loess Plateau, China. **Sustainability**, v. 15, n. 2, p. 1682, 2023.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

QUALIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DAS BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E ROTAÇÃO DE CULTURAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO

Aline Marchetti Silva Matos[1*], Naiane Antunes Alves Ribeiro[2], Nelson Câmara de Souza Júnior[3], Vitória Almeida Moreira Girardi[4], Marcelo Andreotti[5]

[1, 2, 3, 4] (estudante de doutorado) [5] (professor). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. aline.marchetti@unesp.br*.

RESUMO

Práticas sustentáveis de cultivo agrícola são caminho para solos saudáveis. Objetivou-se avaliar o efeito da inoculação (simples, co-inoculação e inoculação adicional) de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum brasilense*, em diferentes combinações, sobre os indicadores de qualidade do solo em um sistema de plantio direto com rotação de culturas no Cerrado, ao final de duas safras de cultivo de soja. O experimento foi conduzido em Selvíria-MS, de 2022 a 2024, em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2: Controle sem inoculação, *Bradyrhizobium* spp. nas sementes, *Bradyrhizobium* nas sementes *+ Azospirillum brasilense* via sulco de semeadura, *Bradyrhizobium + A. brasilense* nas sementes, combinados sem ou com pulverização de *Bradyrhizobium* no solo em estádioR1 da soja. Após o cultivo da soja em 2023/24 foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m para análises físicas, químicas, microbiológicas. Correlações positivas ocorreram com atividade de β-glicosidase e carbono da biomassa microbiana, β-glicosidase e arilsulfatase e β-glicosidase e fosfatase. A interação entre rotação de culturas e bactérias potencializam a qualidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: fertilidade do solo; física do solo; biologia do solo; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas de cobertura em sistema plantio direto (SPD) é comumente utilizada em sistemas de rotação de culturas para beneficiar os serviços ecossistêmicos, aumentar a produtividade e contribuir para a ciclagem de nutrientes nas interações entre solo e planta (Crusciol *et al*., 2021). Com a busca de produção mais sustentável, o uso de técnicas como a inoculação de microrganismos benéficos nas plantas vem ganhando destaque e podem contribuir para o incremento da produtividade vegetal (Dhiman *et al*., 2022).

As funções do ecossistema solo são complexas de se analisar diretamente. Desse modo, são usualmente inferidas a partir de propriedades mensuráveis, como os indicadores de qualidade, que abrangem as características físico-químicas e microbiológicas do solo (Muñoz- Rojas *et al*., 2016). Tradicionalmente, os atributos físico-químicos são os principais indicadores e os mais utilizados para analisar a qualidade do solo. O teor de Carbono Orgânico (COT), teor de N total (NT) e pH, estão no grupo das propriedades químicas (Rabot *et al*., 2018). Contudo, as propriedades físicas do solo são importantes indicadores de sua qualidade e demonstram o papel fundamental da saúde e a produção sustentável da agricultura (Regelink *et al*., 2015).

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) que produzem os exopolissacarideos podem incrementar significativamente a agregação do solo e o volume de poros, que influencia beneficamente no acréscimo da taxa de infiltração da água, condutividade hidráulica e redução da salinidade. Consequentemente, ocorre o aumento na disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, proporcionando maior tolerância ao estresse hídrico em virtude da melhoria das condições estruturais do solo (Upadhyay *et al*., 2011). Além disso, os sistemas radiculares mais vigorosos e desenvolvidos provenientes da inoculação com as BPCPs, podem favorecer a absorção de água e nutrientes (Lin *et al*., 2020).

Diante do exposto, a utilização do consórcio bacteriano composto por *Bradyrhizobium* sp. e *Azospirillum brasilense*, aplicado em diferentes combinações em um sistema conservacionista de manejo do

solo, promove alterações significativas e benéficas nas frações física, química e microbiológica do solo, representando uma estratégia simples, de baixo custo e sustentável para a melhoria da saúde do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo e sequeiro, no município de Selvíria/MS, na área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/SP, sendo as coordenadas geográficas de latitude 20°20'36.95" S, longitude 51°24'5.96" W e altitude de 356 m e conduzido nas safras de 2022/23 e 2023/24. O tipo climático da região é o Aw segundo classificação de Köppen, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos. A precipitação média anual é de 1.370 mm e a temperatura média de 23.5 °C (Hernandez *et al.*, 1995). O solo está classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, com 52% de teor de argila, e histórico de 14 anos em SPD, cuja planta de cobertura antecessora a soja foi a *Urochloa brizantha* cv. Paiaguás em 2023 e 2024.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo os quatro tratamentos de semeadura: 1) Controle (soja sem inoculação), 2) Soja com *Bradyrhizobium* nas sementes, 3) Soja inoculada com *Bradyrhizobium* sp. nas sementes + *Azospirillum brasilense* no sulco de semeadura e 4) Soja inoculada com *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* nas sementes, combinados com ou sem pulverização do *Bradyrhizobium* no coleto da soja, em estádio R1.

Foram utilizadas as estirpes de *Azospirillum brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 ($3X10^8$ UFC/mL) e *Bradyrhizobium elkanii* SEMIA 587 e SEMIA 5019 ($7x10^9$ UFC/mL). Cada parcela foi composta por 14 linhas de 10 m de comprimento, espaçadas 0,50 m entre linhas e entre parcelas.

Ao final da colheita da soja de 2023/24, foram efetuadas coletas de amostras deformadas em 10 pontos por parcela para compor uma amostra composta, nas camadas de 0 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, onde foram realizadas análises químicas segundo metodologia descrita por Raij *et al*. (2001). No mesmo momento e camadas para caracterização química do solo, foram coletados anéis volumétricos para quantificação da Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, seguindo a metodologia proposta por Teixeira *et al*. (2017). Para determinar a atividade respiratória microbiana (ARM) segundo Rezende *et al*. (2004) e, carbono da biomassa microbiana (CBM) do solo, segundo Jenkinson e Powlson (1976), modificado por Oliveira *et al*. (2001) foram utilizadas as amostras coletadas à 0-0,10 m e também foram avaliadas as atividades de enzimas do solo associadas ao ciclo do carbono (β-glucosidase) do fósforo (fosfatase ácida) e do enxofre (arilsulfatase), de acordo com Tabatabai e Bremner (1969).

Foram efetuadas as análises em ambiente de computação estatística e gráfica do Software R da versão R x64.4.1.0 (R Core Team, 2021) cujos dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homocedasticidade de Levene, ambos a 5% de significância. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0.05$), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o heatmap (Figura 1), nota-se que para Densid (Densidade do solo) e Microp (Microporosidade), há correlação negativa forte (> -0,5), ou seja, há incremento na microporosidade quando a densidade do solo diminui, isso ocorre devido ao alto tráfego de máquinas que pode compactar a superfície do solo em SPD (Silveira *et al*., 2007). Nota-se na mesma figura, a correlação negativa forte entre Densid e Poros_Total, sendo a correlação negativa forte (> -0,5), ou seja, há incremento da porosidade total do solo quando a densidade do solo diminui. A relação inversa entre esses atributos ocorre por que há mais espaços

vazios (poros) entre as partículas sólidas, ou seja, maior porosidade há menos massa de solo em um volume, resultando em redução na densidade (Yu *et al*., 2018)

No Heatmap, verifica-se a relação entre Poros_Total (Porosidade Total) e Microp (Microporos) por apresentar correlação positiva muito forte (>+0,75). A porosidade total do solo aumenta de acordo com o incremento dos microporos. Esses atributos estão diretamente relacionados e ocorrem por que os microporos ocupam proporção significativa do volume e da área superficial do solo, sendo que, à medida que os microporos aumentam, há também aumento na porosidade total (Wang *et al*., 2014).

Há correlação positiva muito forte (> +0,75) entre atividade da Beta (β-glicosidase) e o CBM, sendo que, quanto maior o CBM no solo, maior será a atividade da enzima β-glicosidase. Dessa mesma forma, a enzima β-glicosidase também correlaciona de modo positivo à atividade da Aril (arilsulfatase), ou seja, a β-glicosidase é uma enzima extracelular de microrganismos para quebrar compostos complexos. Quanto maior a população microbiana no solo, maior será a produção e atividade enzimática (Tomar *et al*., 2020)

Na fertilidade do solo, há correlação positiva muito forte (> +0,75) entre pH e a V (V%), demonstrando a associação entre eles, quanto maior o pH maior será a saturação por bases no solo. Em solos com alto pH há menor teor de íons hidrogênio e alumínio na solução do solo, favorecendo dessa forma a retenção de cátions básicos como Cálcio, Magnésio e Potássio no complexo de troca (Dai *et al*., 1998).

A β-glicosidase e a Fosf (fosfatase ácida) apresentam correlação positiva muito forte (> +0,75), ou seja, onde há maior atividade de β-glicosidase positivamente também há maior atividade da fosfatase ácida, ou seja, maior ciclagem de fósforo. A correlação entre os demais atributos se enquadra na correlação negativa fraca (>-0,25), e correlação positiva fraca (<+0,5), portanto, pouco dependem uma da outra.

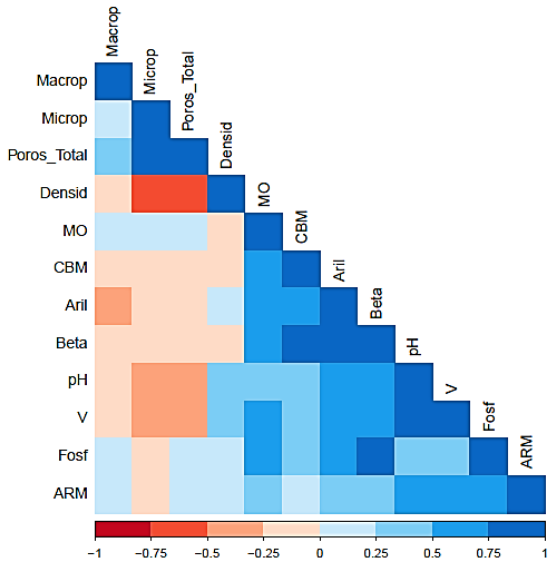


Figura 1. Heatmap mostrando os coeficientes de correlação. A escala azul escuro é a correlação positiva forte (+1) e a escala vermelho escuro é a correlação negativa forte (-1). Selvíria-MS, 2024.

CONCLUSÕES

A inoculação com as bactérias promotoras de crescimento de plantas *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum brasilense*, em diferentes combinações e estratégias de aplicação, influencia a qualidade do solo. As correlações positivas observadas entre a atividade da β-glicosidase e o carbono da biomassa microbiana, a arilsulfatase e a fosfatase ácida indicam que a inoculação estimula a atividade microbiana e a ciclagem de nutrientes no solo. A forte correlação positiva entre pH e a saturação por bases (V%) reforça a importância do equilíbrio químico para a fertilidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 88887.706153/2022-00.

BIBLIOGRAFIA

CRUSCIOL, C.A.C.; *et al*. Nitrogen-fertilized systems of maize intercropped with tropical grasses for enhanced yields and estimated land use and meat production. **Sustainability Food System**, v. 4, 2020.

CRUSCIOL, C.A.C.; *et al*. Upland rice intercropped with forage grasses in an integrated crop-livestock system: optimizing nitrogen management and food production, **Field Crop Research**, v. 261, 2021.

DAI, Z.; *et al*. Changes in pH, CEC and exchangeable acidity of some forest soils in southern China during the last 32-35 years. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.108, p. 377–390, 1998.

DHIMAN, V. K.; *et al*. Effect of rhizobial isolates and nitrogen fertilizers on nursery performace, nodulation behavior and nitrogen activity Dalbergia sissoo Roxb. seedlings. Plant Stress, v. 4, 2022.

HERNANDEZ, F. B. T.; *et al*. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS/Área de Hidráulica e Irrigação, 1995.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *In:* PAUL, E. A.; LADD, J. N., eds., **Soil Biology and Biochemistry**, v. 5, p. 415-471, 1976.

LIN, Y.; *et al*. Influence of plant growthpromoting rhizobacteria on corn growth under drought stress, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 2, p. 250-264, 2020.

MUÑOZ-ROJAS, M.; *et al*. Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degrated semiarid ecosystems. **Society for Ecology Restaration**, v. 24, p. 543-552, 2016.

OLIVEIRA, J. R. A.; *et al*. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação incubação e fumigação extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 863-871, 2001.

RABOT, E.; *et al*. Soil structure as an indicator of soilfunctions: A review. **Geoderma**, Alemanha, v. 314, p. 122–137, 2018.

RAIJ, B. van *et al*. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, n. 19, p. 285, 2001.

REGELINK, I. C.; *et al*. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, v. 247–248, p. 24–37, 2015.

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**. V. 94, p. 159-167, 2004.

SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Campinas: Instituto Agronômico, 2007.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Use of p-nitrofenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 1, p. 301-307,1969.

TEIXEIRA, P. C. *et al*. **Manual de métodos de análise de solo** (3a ed.). Brasília: **Embrapa**, 2017.

TOMAR, U.; BAISHYA, R. Seasonality and moisture regime control soil respiration, enzyme activities, and soil microbial biomass carbon in a semi-arid forest of Delhi, India. **Ecological Processes**, v. 9, 2020.

UPADHYAY, S.; *et al*. Exopolysaccharide-producing plant growthpromoting rhizobacteria under salinity condition. **Pedosphere**, v. 21, n. 2, p. 214-222, 2011.

WANG, F.; *et al*. Influence of Coalification on the Pore Characteristics of Middle–High Rank Coal. **Energy & Fuels**, v. 28, p. 5729–5736, 2014.

YU, B.; *et al*. Effects of Tree Root Density on Soil Total Porosity and Non-Capillary Porosity Using a Ground-Penetrating Tree Radar Unit in Shanghai, China. **Sustainability**, v. 10, 4640, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

BIOINDICADORES DO SOLO EM FUNÇÃO DO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E DA INOCULAÇÃO COM *Azospirillum brasilense*

Naiane Antunes Alves Ribeiro[1*], Aline Marchetti Silva Matos[1], Nelson Câmara de Souza Júnior[1], Vitória Almeida Moreira Girardi[1], Marcelo Andreotti[1]

[1] Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP-FEIS, Ilha Solteira 17900-000, São Paulo, Brasil. *E-mail: na.ribeiro@unesp.br

RESUMO

A pressão nos agroecossistemas traz a busca de sistemas de produção mais sustentáveis. Objetivou-se determinar os atributos químicos, biológicos e atividade enzimática do solo, frações do fósforo e sua dinâmica no solo após três anos da aplicação, isso ante ao efeito residual da adubação fosfatada aplicada em 2020, com ou sem a bactéria *Azospirillum brasilense* nas gramíneas produtoras de grãos da rotação, em área sob manejo de sistema plantio direto há 20 anos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo 5 doses de fósforo 0; 30; 60; 120 e 240 kg ha^{-1} com inoculação ou não de *A. brasilense*. Após 20 anos sob sistema conservacionista, pelo equilíbrio biológico do solo, houve efeito apenas da inoculação, com ganho na saúde do solo, para as demais variáveis, não houve diferença significativa.

PALAVRAS-CHAVE: saúde do solo; sistemas integrados de produção; manejo conservacionista; matéria orgânica do solo.

INTRODUÇÃO

A pressão sobre os agroecossistemas se intensifica com o aumento da demanda por produtos advindos da agropecuária e a cobrança cada vez maior da comunidade por alimentos de qualidade, produções mais sustentáveis e de menor impacto ambiental que preserve a biodiversidade e o bem-estar da sociedade, gera grande desafio para o setor agrícola mundial (Ullah; Salem; Kang, 2023).

A falta ou cobertura inadequada do solo por período prolongado, tem sido um dos principais fatores que contribuem para a intensificação do esgotamento e degradação dos solos, assim, o Sistema Plantio Direto (SPD) é um manejo conservacionista que aumenta o volume e a qualidade da cobertura do solo (Spera *et al*., 2019). Aliado ao SPD, a inoculação das culturas com Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCPs) auxiliam no aumento da produtividade. As BPCPs representam vasto grupo de microrganismos que associados às plantas, por mecanismos diretos e/ou indiretos promovem melhorias no crescimento e desenvolvimento das culturas (Mendonça *et al*., 2020). Entretanto, ainda existem desafios para o aumento da produtividade das culturas, pois os solos tropicais, normalmente, possuem baixa concentração de nutrientes, com destaque ao Fósforo (P). O P, além de possuir auto potencial de fixação e imobilização no solo, também tem fontes finitas e não renováveis (Prado, 2008).

A partir de todo o exposto, a primeira hipótese explorada nesta pesquisa foi a de que os atributos biológicos do solo são capazes de influir na atividade enzimática, podendo ser alterados pelo sistema de manejo adotado, como o SPD de longa duração. Logo, esses parâmetros podem ser utilizados na avaliação da qualidade e saúde do solo em áreas de produção sob diferentes manejos.

Objetivou-se determinar os atributos biológicos e atividade enzimática do solo, identificar se há ou não interferência do manejo conservacionista sob as condições biológicas e enzimáticas do solo, ante ao efeito residual da adubação fosfatada aplicada em 2020, com a ausência ou presença da bactéria *A. brasilense* nas gramíneas produtoras de grãos antecessoras da rotação desde 2013, em um Latossolo Vermelho Distrófico na região de Cerrado de baixa altitude.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) – Setor de Produção Vegetal, pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS)/Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizada no município de Selvíria/MS, com as coordenadas geográficas 20°20'45''S e 51°24'25''W e altitude de 350 m. Relevo moderadamente plano, com solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, de textura argilosa, atualizado de acordo com a Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. O tipo climático é o Aw, segundo classificação de Köppen, descrito como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação média anual é de 1370 mm e a temperatura média de 23,5 °C.

A área experimental possui histórico de cultivo constituído por culturas anuais em SPD há 20 anos. O delineamento experimental foi o em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 5x2, sendo 5 (cinco) doses de fósforo 0; 30; 60; 120 e 240 kg ha^{-1} de P_2O_5 fornecidos via Fosfato Monoamônico (MAP – N: 11%, P: 52%). A dose recomendada em análise inicial do solo realizada ano de 2013, foi de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5, a partir desta dose padrão, obteve-se as demais doses, sendo: meia dose (30 kg ha^{-1}), dobro da dose padrão (120 kg ha^{-1}), duas vezes o dobro da dose padrão (240 kg ha^{-1}) e a testemunha (0 kg ha^{-1}), a quantidade de nitrogênio (N) nas parcelas foi balanceada com a utilização de ureia. A aplicação foi a lanço sem incorporação no ano de 2013 e reaplicadas em 2020, junto com a inoculação ou não das gramíneas produtoras de grãos da rotação de culturas com a bactéria *A. brasilense*, com quatro repetições por tratamento.

Nas avaliações dos atributos biológicos do solo, foram determinados a Atividade Respiratória Microbiana (ARM), de acordo com a metodologia proposta por Anderson (1982), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), de acordo com a metodologia proposta por Vance, Brookes e Jenkinson (1987). O Quociente Metabólico (qCO2) foi calculado pela razão entre a ARM e o CBM, conforme proposto por Anderson e Domsch (1993), e o Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado pelo método proposto por Walkley e Black (1934). Para a avaliação da saúde do solo foi utilizado o modelo de quatro quadrantes proposto por Chaer *et al*. (2023). As coletas de solo foram realizadas no dia 26/09/23 com o auxílio de um perfurador de solo Stihl BT 45, na camada de 0,00 a 0,10 m. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P<0,05$). Os efeitos de inoculação ou não com *A. brasilense* foram comparados pelo teste t (LSD) ($P<0,05$). Enquanto que o efeito da adubação fosfatada residual foi avaliado por análise de regressão ($P<0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR® (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em análise dos atributos biológicos do solo (Tabela 1), não houve interação entre os fatores analisados, assim como para o fator isolado dos residuais da adubação fosfatada. Para a inoculação, observou-se diferença entre as médias da atividade respiratória microbiana (ARM) e do quociente metabólico (qCO_2), tendo as maiores médias em áreas não inoculadas. Para os demais atributos biológicos do solo, não houve diferenças significativas para inoculação. As parcelas que tiveram as gramíneas inoculadas na rotação de culturas, apresentaram ARM e qCO2 22,2 e 23,1% menor que nas parcelas não inoculadas.

A ARM em associação com o CBM torna possível obter o Quociente Metabólico (qCO_2), pela razão entre a ARM por unidade de CBM e tempo, usado para estimar a eficiência do uso de substrato pelos microrganismos do solo, sendo este utilizado como um sensível indicador de estresse quando o CBM é afetado, sendo ambas as ferramentas importantes no entendimento das transformações e perdas nos compartimentos orgânicos do solo (Anderson; Domsch, 1993).

Com tudo, ao analisar a ARM juntamente com os outros indicadores de qualidade do solo (Tabela 1), observa-se maior ARM nas parcelas que não receberam inoculação com *A. brasilense*, o que caracterizaria um sistema com maior perda de CO_2 pela maior atividade de microrganismos, como também houve estabilidade do CBM e do COT entre as áreas inoculadas e não inoculadas, e queda no quociente metabólico

da área inoculada, indica menor perda de CO_2, resultado este interessante em processos metabólicos de ciclagem de nutrientes e sequestro de carbono no solo.

Tabela 1. Atributos biológicos do solo. Selvíria/MS, 2023/2024

Tratamento	ARM	CBM	COT	qCO_2
	mg CO_2 g^{-1} dia^1	mg C g^{-1}	g kg^1	µg C-CO_2 $µg^{-1}$ CBM dia^{-1}
Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1}) (P)				
0	0,71	0,24	15	2,9
30	0,62	0,28	15	2,2
60	0,50	0,30	15	1,7
120	0,60	0,31	15	1,9
240	0,75	0,28	16	2,7
Inoculação (I)				
Com	0,56b	0,28	15	2,0b
Sem	0,72a	0,28	15	2,6a
Teste t - P	0,538^{ns}	0,080^{ns}	0,273^{ns}	0,341^{ns}
Teste t - I	0,000**	0,821^{ns}	0,872 ^{ns}	0,008**
Teste t - PxI	0,082^{ns}	0,246^{ns}	0,468 ^{ns}	0,141^{ns}
CV%	11,39	10,23	7,71	16,03

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, para tratamentos distintos, diferem entre si pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste t (LSD), respectivamente. ns não significativo. Em que: CV: coeficiente de variação.

Na Figura 1 é possível verificar as tendências para carbono no solo dentro dos tratamentos adotados na pesquisa, onde nota-se que tanto para o fator inoculação, quanto para o residual das doses de P_2O_5 proporcionaram teores elevados e estáveis com base no COT e AEM. Observa-se com as médias do COT e AEM dos tratamentos que, tanto para o fator inoculação, quanto para o residual das doses de P_2O_5, ambos estão com valores dentro dos quadrantes 1 (Q1) e quadrante 4 (Q4) que correspondem, respectivamente, em solo saudável e solo em recuperação.

A determinação das atividades enzimáticas fornece informações preciosas sobre a saúde do solo, isso devido ao fato de que as atividades das enzimas são alteradas pelo estoque de carbono do solo e pelas mudanças de seu uso (Mello *et al*., 2014). Com isso, considerando um gráfico de dispersão contendo a relação entre a atividade enzimática e o COT torna possível definir quatro estados de saúde do solo, representados em quatro quadrantes distintos (Chaer *et al*., 2023). Avaliando-se a Figura 1, verifica-se que a área experimental está em sua maioria no quadrante 1 (Q1), representando solos de alta qualidade, indicando que a adoção de boas práticas de manejo por um longo período traz bons resultados na recuperação, equilíbrio e resiliência do solo.

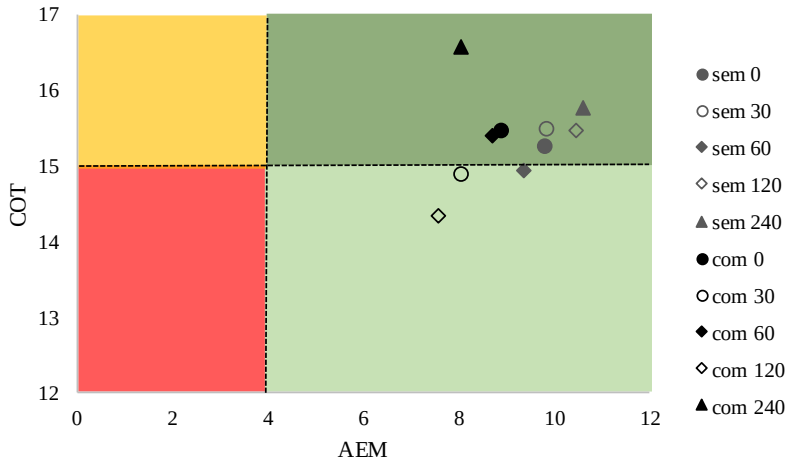


Figura 1. Saúde do solo, por médias das tendências de carbono no solo. Selvíria/MS, 2023/2024

AEM= ((ßG /COT)+(AS/COT))/2. Em que: ßG: ß-glicosedase, AS:arilsulfatase, COT: carbono orgânico total e AEM: atividade enzimática específica média. Em que: sem: área sem inoculação, com: área com inoculação e 0, 30, 60, 120, 240: doses de fósforo em quilogramas por hectare. Q1: solo saudável, Q2: solo adoecendo, Q3: solo doente, Q4: solo em recuperação

Fonte: adaptado Chaer *et al*. (2023).

CONCLUSÕES

Após 20 anos sob sistema conservacionista de produção, adotando práticas que levam em consideração a saúde e qualidade do solo, pelo equilíbrio biológico, houve efeito apenas da inoculação com *A. brasilense*, com ganho na saúde do solo. As áreas sem inoculação por *A. brasilense*, teve maior atividade microbiana, atuando na degradação do material orgânico, que culminou em maior quociente metabólico, indicando perda de CO_2 e menor sequestro de carbono.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - Código de Financiamento Proc. 2022/07228-6.

BIBLIOGRAFIA

ULLAH, A.; SALEM, S.; KANG, S. The impact of agroecosystem on ecological footprint: Fresh evidence in the perspective of existing agriculture and green Pakistan. **Ciência Rural**, Rio Grande do Sul/RS, v. 53, n. 1, p. 01 – 13, 2023. DOI: 10.1590/0103-8478cr20210617

SPERA, S. T.; MAGALHÃES, C. A. S.; DENARDIN, J. E.; TARDIN, F. D.; MATOS, E. S.; SOUVO, L. H. C. Produção de grãos e de palhada em diferentes rotações de culturas manejadas com sistema plantio direto. In.: SILVA, A. J. R. *et al*. **Embrapa Agrossilvipastoril** - Primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2019. cap. 4. p. 47 – 51. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1103775/1/2019cpamtagrossilvipastorilpart1cap4producaograospalhadadiferentesrotacoesculturassistemaplantiodiretop4751.pdf. Acesso em: 27/03/2023

MENDONÇA, J. J.; JUNIOR, M. A. L.; CARVALHO, E. X.; FRACETTO, G. G. M.; FRACETTO, F. J. C.; ALVES, M. J. G.; OLIVEIRA, J. P. Diversidade, mecanismos de atuação e potencial agrícola de bactérias promotoras de crescimento de plantas, usando milho como cultura exemplo. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**. [S. l.], v. 25, n. 2, 2020. DOI: 10.12661/pap.2020.010

PRADO, R. M. Fósforo. In.: PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. Editora UNESP. [S. l.], 2008. cap. 6. p. 139 – 160.

ANDERSON, J. P. E.; PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. Soil Respiration. *In:* Page, A. L., Ed., **Methods of Soil Analysis** [S. l.], Part 2, 2nd Edition, ASA and SSSA, Madison, 831 – 871, 1982.

VANCE, E. D.; BROOKES.; P. C. JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**. [S. l.], v. 19, n. 6, p. 703 – 707, 1987. DOI: 10.1016/0038-0717(87)90052-6

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of enviromental conditions, such as Ph, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**. Braunschweig, v. 25, n. 3, p. 393 – 395, 1993.

WALKLEY, A. J.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**. [S. l.], v. 37, p. 29 – 38, 1934. DOI: 10.1097/00010694-193401000-00003

CHAER, G. M.; MENDES, I. C.; DANTAS, O. D.; MALAQUIAS, J. V.; REIS JUNIOR, F. B.; OLIVEIRA, M. I. L. Evaluating C trends in clayey Cerrado oxisols using a four-quadrant model based on specific arylsulfatase and β-glucosidase activities. **Applied Soil Ecology**. [S. l.], v. 183, p. 104 – 742, 2023. DOI: 10.1016/j.apsoil.2022.104742

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. [S. l.], v. 35, n. 6, p. 1039 – 1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001

MELLO, F. F. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; HOLBROOK, N. M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Payback time for soil carbono and sugar-cane etanol. **Nature Climate Change**. [S. l.], 2014. DOI: 10.1038/nclimate2239

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATIVIDADE MICROBIANA DE SOLO CULTIVADO COM SOJA SOB APLICAÇÃO FOLIAR DE EXTRATO DE ALGAS

Fernando Kappes[1*]; Vitor Antônio Araldi Faccin[2]; Marco Antonio Bacellar Barreiros[3]; Vivian Carré Missio[4]; Luciana Grange[5]

[1,2] Estudantes de graduação da Universidade Federal do Paraná, [3,4,5] Professores Doutores da Universidade Federal do Paraná.
*fernandokappes@ufpr.br

RESUMO

A soja é crucial para o agronegócio brasileiro, representando 27,1% do Valor Bruto da Produção Agropecuária. A aplicação foliar de extrato de algas, devido a compostos bioativos, pode melhorar processos fisiológicos das plantas e a estrutura do solo. O estudo avaliou o efeito do extrato de Ascophyllum nodosum em parâmetros microbiológicos do solo na produtividade da soja. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Foram avaliados 7 tratamentos que variaram em termos fenológicos da soja e a aplicação do extrato de algas. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com três repetições. Resultados mostraram que tratamentos com aplicação em estágios vegetativos e reprodutivos melhoraram a biomassa e atividade microbiana, reduzindo estresse microbiano e aumentando a produtividade. Conclui-se que o extrato de algas beneficia culturas e solos, mas ainda são necessários estudos de posicionamento para otimizar aplicações em diferentes condições.

PALAVRAS-CHAVE: CBM-S, bioativador, *Ascophyllum nodosum*.

INTRODUÇÃO

A soja *Glycine max* (L.) Merr. é uma das culturas mais importantes do agronegócio brasileiro (Zdziarski *et al*., 2018), e a principal comodity representante no PIB agropecuário brasileiro. Segundo dados do IBGE/LSPA (2023), a soja é responsável por 27,1% do Valor Bruto da Produção Agropecuária do país, onde ocupa grande parte da área cultivada e sua produtividade está diretamente relacionada a fatores edafoclimáticos e ao manejo agronômico empregado.

A aplicação foliar de extrato de algas tem sido investigada devido à presença de compostos bioativos que podem influenciar positivamente em diferentes processos fisiológicos das plantas (Saccommori, 2021). No entanto, os efeitos desses compostos podem variar de acordo com o estágio fenológico da cultura em que são aplicados, exigindo estudos detalhados para definir os momentos mais adequados para sua utilização (Povero *et al*., 2016).

Mendes *et al*. (2024), ressaltam que a saúde do solo é um fator determinante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Para isso, eles e muito outros fazem o uso de indicadores microbiológicos, como a Respiração Basal do Solo (RBS), o Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS) e o quociente metabólico (qCO_2), dente outro, para avaliar a qualidade biológica do solo e os impactos das práticas de manejo.

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de extrato de algas à base de *Ascophyllum nodosum* sobre parâmetros microbiológicos do solo, a fim de compreender melhor sua contribuição para a saúde do solo e para a produtividade da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado à campo, durante a safra 2022, na área experimental da Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Palotina – PR, sob Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef1) (Bhering e Santos, 2008), de clima subtropical úmido, com temperatura média de 22ºC e precipitação média de 1.500 mm anuais. (Nitsche *et al*., 2019).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com 7 tratamentos e 3 repetições, sendo cada unidade experimental composta por 4 linhas de semeadura espaçadas em 0,45 m entre si e com 5 metros de comprimento, totalizando 9 m². A área útil considerada para as avaliações foi de 3,6 m², sendo composta pelas 2 linhas centrais e com 4 metros de comprimento.

A cultivar utilizada foi cultivar BS2606 IPRO, de grupo de maturação 6.0, hábito de crescimento Indeterminado, moderadamente resistente ao cancro da haste e a mancha olho-de-rã e resistente a necrose da haste, a pústula bacteriana e a podridão r. de fitóftora (Rps1c) (Raças 1, 3, 7 e 17).

O experimento foi conduzido a partir de um produto comercial, composto a base de extrato de algas *Ascophyllum nodosum*, contendo em sua formulação Potássio (K_20) solúvel em água de 5,3% (61,46 g/L), Carbono orgânico total de 6,0% (69,60 g/L), em pH - 8,0, sob Densidade a 20 °C de 1,16 g/ml apresentando Índice salino de 18%.

O produto foi posicionado (T-tratamentos) na soja a partir de aplicações (APL) foliares da dose comercial considerando as diferentes fases fenológicas (FF) da cultura, a saber: T1. Soja sem nenhuma APL do extrato de algas dose comercial; T2. Soja sob aplicação somente em V1; T3. Soja sob aplicações, em V1 e em V6; T4. Soja sob APL em V1, V4, V6 e em R1; T5. Soja sob APL em V5, V6 e em R1; T6. Soja sob APL em TS, V4, V8 e em R3 e T7. Soja sob APL em T7, R1 e em R4.

A RBS foi determinada segundo o método descrito por Jenkinson e Powlson (1976) e a determinação do C-BMS foi realizada seguindo as metodologias de Vance *et al*. (1987) e Tate *et al*. (1988), empregando o método de fumigação-extração com clorofórmio em dessecador. O qCO_2 foi obtido pela razão entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana do solo.

A colheita foi realizada manualmente, cortando as plantas da área útil da parcela rentes ao solo e processando em trilhadora de grãos. Os grãos foram colhidos e a sua massa medida em gramas. A umidade dos grãos foi determinada utilizando medidor de umidade portátil de grãos, marca Gehaka, modelo G650i. Os dados de produtividade foram transformados em quilograma por hectare, com a umidade corrigida para 13%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo o rotulo do fabricante, o produto contém uma mistura complexa de compostos bioativos sinérgicos que aumentam o potencial de nutrição das plantas principalmente através do aumento de raízes, pela promoção de alongamentos e ramificações de pelos absorventes. Também aponta melhorias da absorção de nutrientes devido a presença de agentes complexantes naturais na composição do produto.

O tratamento T3, com APL em V1 e V6 (Tabela 2) demonstrou proporcionar a maior atividade e biomassa microbiana (0,98) e apresentou o maior valor de BMS-C (497,3), seguido por T7 que teve APL em R1 e R4 (476,6) e pelo T2, com APL somente em V1 (352,2). Ambos, os tratamentos T2 e T3 apresentam aplicações em V1 e no T7, foram posicionadas duas aplicações ambas em estádios reprodutivos. Os tratamentos T4, T5 e T6, apresentaram valores de BMS próximos entre si e maiores toque o controle.

A análise do quociente metabólico apresentou que o T7. R1 e R4 obteve o melhor desempenho no uso de carbono (0,53), isso nos sugere que esses tratamentos foram mais eficazes em aumentar a biomassa microbiana do solo. Por outro lado, o tratamento controle apresentou o maior estresse microbiano (3,34), evidenciado pelo alto qCO_2, o que pode ter impactado negativamente o desenvolvimento da cultura. Esses dados ressaltam a importância de considerar os efeitos da aplicação de extrato de algas nos parâmetros biológicos do solo, para promover a melhoria da saúde do solo e assim também a produtividade da soja.

Segundo Fleurence, 2022 os microrganismos presentes no solo respondem e ajustam sua densidade populacional, de acordo com os exsudatos radiculares, fontes de açúcares, que são liberados pelas plantas nos seus diferentes estádios de crescimento. São nos momentos iniciais dos estádios, tanto vegetativos quanto reprodutivos, que a literatura descreve como sendo de maior atividade populacional devido aos

comandos emitidos pela quimiotaxia radicular. Ou seja, os melhores momentos de responsabilidade de microbianas são entre a germinação e o V1-V4 e no arranque reprodutivo que acontece no estádio R1.

Tabela 2. Atributos biológicos do solo e produtividade (kg.ha^{-1}) dos tratamentos avaliados.

Tratamentos	RBS	BMS-C	qCO2	Produtividade (kg.ha^{-1}) *
1. Controle	0,28 b	82,9 d	3,34 a	3488,06 ab
2. V1	0,43 b	352,2 abc	1,21 bc	3364,54 ab
3. V1 + V6	0,98 a	497,3 a	2,04 ab	3171,20 b
4. V1 + V4 + V6 + R1	0,34 b	186,5 cd	1,71 bc	3678,70 ab
5. V6 + R1	0,25 b	207,2 cd	1,23 bc	3387,36 ab
6. TS + V4 + V8 + R3	0,38 b	248,6 bcd	1,52 bc	4119,07 a
7. R1 + R4	0,25 b	476,6 ab	0,53 c	3304,12 ab

* teste de Tukey a 5% de probabilidade. V= Estádio Vegetativo; R= Estádio Reprodutivo; TS= Tratamento de Semente; RBS= Respiração Basal do Solo; BMS-C= Carbono da Biomassa Microbiana do Solo; qCO_2= Quociente Metabólico.

O tratamento 6. TS + V4 + V8 + R3 (Tabela 3) se destacou como o mais produtivo, alcançando a maior produtividade (4119,07 kg.ha^{-1}). Este resultado demonstra que o extrato de algas aplicado no tratamento de semente, combinado com as outras aplicações, foram significativamente superioras em relação ao tratamento 3. V1 + V6, que apresentou a menor produtividade (3171,20 kg.ha^{-1}).

Mesmo sob diferenças significativas, os valores de médias de produtividade variaram pouco entre si enquanto os valores de carbono da biomassa microbiana se alteraram mais em relação aos diferentes tratamentos considerando as combinações de aplicações do extrato de algas. Segundo Mendes *et al*., 2009, valores de atributos biológicos são mais sensíveis que vegetativos, portanto, variam com mais sensibilidade diante das diferentes intervenções no sistema rizosférico.

Os bioestimulantes podem proporcionar uma nova fonte de nutrientes para os microrganismos do solo, o que por sua vez pode aumentar a atividade desses microrganismos (Dey *et al*. 2012). Além disso, os bioestimulantes também podem auxiliar no desenvolvimento desses microrganismos, promovendo uma biodiversidade mais rica no solo. Isso resultará em solo mais produtivo, favorecendo as plantas que crescem nele (Kawalekar, 2013)

CONCLUSÕES

Este trabalho conclui-se que o uso de extratos de algas traz benefícios tanto vegetativos para culturas comerciais quanto biológicos para solos agrícolas, independentemente das combinações de aplicação. No entanto, é necessário realizar mais estudos de posicionamento para avaliar melhor as condições climáticas e físicas dos solos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao grupo de estudos FIXTEC coordenado pela Professora Dra. Luciana Grange, a todos os integrantes do grupo pelo apoio e colaboração nas atividades, ao INCT Micro Agro e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ARAGÃO, O. O. S. **Indicadores microbiológicos de qualidade do solo estão relacionados com maiores produtividades do cafeeiro no cerrado mineiro**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2018.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos (ed.). **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Colombo, PR: EMBRAPA Florestas, 2008. Dados Vetoriais. Escala 1:600.000.

CARDOSO, EJBN, VASCONCELLOS, RLF, BINI, D., MIYAUCHI, MYH, SANTOS, CA, ALVES, PRL,. Saúde do solo: buscando indicadores adequados. o que deve ser considerado para avaliar os efeitos do uso e manejo na saúde do solo. **Scientia Agricola** 70 (4), 274–289, 2013.

DEY, R., PAL, KK & TILAK, KVBR. Influência do solo e dos tipos de plantas na diversidade de rizobactérias. **Proc. Natl. Acad. Sci**., Índia, Seção B Biol. Sci. 82 , 341–352 (2012). https://doi.org/10.1007/s40011-012-0030-4

FLEURENCE, J.Potencial bioestimulante de extratos de algas marinhas derivados de Laminaria e Ascophyllum nodosum. ***In:*** **RAMAWAT, N.; BHARDWAJ, V. (eds). Bioestimulantes: explorando fontes e aplicações. Dinâmica da vida vegetal e do ambiente**. Singapura: Springer, 2022.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 167-177, 1976.

KAWALEKAR, JS. Papel dos biofertilizantes e biopesticidas para a agricultura sustentável. J. Bio. Innov. 2 , 73–78, 2013.

LSPA, IBGE. Levantamento Sistemático da produção agrícola. **Soja. Área plantada, área colhida e produção de soja-safras de**, 2023.

MENDES, I.C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; MERCANTE, F.M. & ZILLI, J.E. Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade? Planaltina**, Embrapa**, 2009.Cerrados, 31 p

NITSCHE, P. R. *et al.*, (ed.). **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR, 2019. Atlas.

POVERO, G. *et al*. Systematic approach to discover and characterize natural plant biostimulants. **Frontiers in Plant Science**, 7: 1-9, 2016.

SACCOMMORI, NATALIA LANDSKRON. **Bioestimulante à base de extrato de algas marinhas na agricultura: Estado arte potêncial de uso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Biotecnologia) - Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

SILVA, E.E.da., AZEVEDO, P.H.S., DE-POLLI, H., "Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO2)", Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 2007, 4 p, (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99).

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial-C – effects of experimental – variables and some different calibration procedures. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 329-335, 1988.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.s.. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology And Biochemistry**, [S.L.], v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

ZDZIARSKI, A. D. *et al*. Key Soybean Maturity Groups to Increase Grain Yield in Brazil. **Crop Science**, v. 58, n. 3, p. 1155–1165, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ISOLAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL EM ECOSSISTEMAS AGRÍCOLAS DE FAZENDA RIO GRANDE, PR

Rafael Hennel Tulio[1*], Heila Silva de Araújo Alencar[2], Heloísa da Silva Baldinotti[1], Jesiane Stefânia Silva Batista[3], Glaciela Kaschuk[4]

[1]Doutorando(a), Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná, rafael.tulio@ufpr.br; [2] Técnica de laboratório do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná; [3] Professora Adjunta na Universidade Estadual de Ponta Grossa; [4] Professora do Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná.

RESUMO

As condições edafoclimáticas de diferentes ecossistemas influem a biodiversidade do solo e afetam a frequência de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) que podem ser isoladas. Este estudo investigou a ocorrência de BPCV em três ecossistemas distintos: floresta nativa (FN), cultivo agrícola (CA) e pastagem cultivada em pastoreio (PP). Foram isoladas e caracterizadas BPCV quanto à capacidade de solubilização de fosfato, produção de fitormônios (AIA) e sideróforos, além da tolerância ao estresse hídrico induzido por PEG 6000. A FN apresentou maior diversidade microbiana e maior produção de AIA, enquanto os isolados de PP demonstraram maior tolerância ao estresse osmótico e maior índice de produção de sideróforos. Esses resultados contribuem para delinear estratégias mais eficientes de coleta de diversidade do solo para identificação de BPCV de interesse biotecnológico.

PALAVRAS-CHAVE: estresse hídrico, milho, rizosfera, inoculantes

INTRODUÇÃO

Os solos abrigam grande diversidade de comunidades microbianas que interagem com as plantas e respondem às características físicas e químicas dos solos. Estas comunidades de microrganismos contribuem para serviços ecossistêmicos dos solos, incluindo a decomposição da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes e nutrição de plantas. As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) formam um subgrupo da comunidade microbiana do solo que contribuem para o crescimento das plantas através de diferentes mecanismos, entre eles, a solubilização de fosfato, produção de fitohormônios (ácido indolacético = AIA) e sideróforos (Alemneh *et al*., 2022). Além disso, as BPCV podem reduzir o estresse hídrico devido a produção de fitohormônios e osmólitos, que estimulam o aumento de área foliar e pelos radiculares, aumentam o teor de clorofila, de água relativa da folha e da fotossíntese (Lobato-Ureche *et al*., 2023).

As condições do ecossistema influenciam a diversidade e as funções metabólicas desempenhadas pelos microrganismos do solo. As florestas nativas (FN) costumam abrigar uma maior diversidade microbiana do solo do que sistemas cultivados. Este estudo trabalhou com a hipótese de que os ecossistemas de FN tenham maior frequência de BPCV do que os ecossistemas com cultivo agrícola (CA) e pastagem cultivadas em pastoreio (PP). O objetivo foi isolar e caracterizar BPCV de três ecossistemas (FN, CA e PP) para delinear estratégias mais eficientes de estudos de diversidade do solo para identificação de BPCV de interesse biotecnológico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com três amostras de solo coletadas de áreas sob FN, CA e PP no município de Fazenda Rio Grande (25°39'30.0"S 49°17'17.2"W), em novembro de 2022. Com estes solos foi realizado um experimento de planta-isca com sementes de milho (Bt RR BTPRO3) para coletar o solo rizosférico. Cada área foi representada por três parcelas e quatro repetições, em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Após 45 dias, 2 g de solo rizosférico de cada tratamento foi retirado para diluição sucessiva e plaqueamento

(Dionísio *et al*., 2016). Os isolados foram cultivados em meio Glicose/Levedura (GL), contendo formas insolúveis de fósforo (P). Após a formação de halo translúcido em torno das colônias foi realizado o Índice de solubilização de fosfato (ISF) que é a razão entre o diâmetro da zona de solubilização (A) e o diâmetro da colônia (B) (Berraqueiro *et al*., 1976). Em relação a solubilização de fosfato inorgânico ($CaPO_4$), as bactérias foram cultivadas em meio líquido NBRIP (Nautiyal, 1999), em pH 7 e incubadas a 28°C, sob agitação de 125 RPM. Após este período foi realizada a determinação da concentração de P através do método colorimétrico de (Murphy & Riley 1962).

As colônias isoladas foram caracterizadas com relação à produção de AIA conforme Gordon e Weber, (1951). Os resultados foram obtidos através de colorimetria em meio tripticaseína de soja (TSB), suplementado com triptofano, em espectrofotômetro (530 nm). A produção de sideróforos foi determinada com o protocolo de Vasques *et al*. (2024). A produção de sideróforos foi considerada positiva quando observada a formação de halo em meio de cultivo King B/ Cromoazurol S (CAS) sob pH 5,6, onde foi calculado o Índice de produção de sideróforos (IPS). A tolerância dos isolados obtidos ao estresse hídrico foi testado através da capacidade de crescimento (DO) em meio liquido TSB com diferentes concentrações de polietilenoglicol (PEG 6000) (-0,15, -0,49, -0,73 Mega Pascal (MPa), conforme método de Ashry *et al*. (2022).

A análise estatística foi realizada no software R (versão 4.1.1), após conferência dos pressupostos (teste de Shapiro-Wilk e Bartlett) da ANOVA. Em seguida, foi realizado o teste de Tukey ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de FN deram origem a 73 isolados de bactérias solubilizadoras de P, seguidas de 45 em CA e 30 em PP. Desses 148 isolados, 41% tiveram tamanho entre 2 a 5 mm, 63% forma circular, 30% elevação convexa, 68% borda lisa e 83% estrutura lisa. As bactérias foram identificadas como Gram – negativas. Considerando uma representante de cada morfotipo, formou-se uma coleção de 26, 15 e 13 estirpes isoladas de FN, CA e PP, respectivamente. Dentre estas bactérias, 41 solubilizaram fosfato a partir de 1,8 A/B e levando em conta os isolados que em 24 horas alcançaram a DO de 0,8 a 1 λ (540 nm), foram selecionados 19 isolados, ficando 26% de FN, 37% de CA e 37% de PA (Tabela 1).

Tabela 1. Frequência e características de potenciais bactérias promotoras de crescimento vegetal isoladas de solos de FN, CA e PP em Fazenda Rio Grande, PR.

	Floresta Nativa (FN)	**Cultivo Agrícola (CA)**	**Pastagem (PP)**
Número total de bactérias isoladas	73	45	30
Índice de Solubilização de Fosfato (ISF)	2,18 ± 0,74 (n=26) c	2,52 ± 1,17 (n=15) b	2,88 ± 1,43 (n=13) a
Solubilização de $CaPO_4$	10,40 ± 5,91 (n=5) b	11,01 ± 11,29 (n=7) a	8,15 ± 6,35 (n=7) c
Produção de AIA (µg/mL)	6,83 ± 2,43 (n=5) a	5,86 ± 2,01 (n=7) b	4,32 ± 1,08 (7) c
Índice de Produção de Sideróforos (IPS)	2,27 ± 0,78 (n=4) c	3,25 ± 2,03 (n=6) b	3,68 ± 2,34 (n=7) a
Tolerância ao PEG 6000/ 0,15 (DO)	0,50 ± 0,20 (n=5) b	0,46 ± 0,19 (n=7) b	0,60 ± 0,20 (n=7) a
Tolerância ao PEG 6000/ 0,49 (DO)	0,34 ± 0,06 (n=5) a	0,32 ± 0,04 (n=7) b	0,34 ± 0,03 (n=7) a
Tolerância ao PEG 6000/ 0,73 (DO)	0,31 ± 0,04 (n=5) c	0,32 ± 0,02 (n=7) b	0,32 ± 0,04 (n=7) a

Notas: Os dados estão dispostos pela média de isolados de cada ecossistema, desvio padrão e número de bactérias. Letras diferentes na linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p=0,05).

Todos os ecossistemas proveram potenciais BPCV, entretanto, a área de FN mostrou maior potencial na produção de AIA com valores 36% maiores do que em PP e 14% do que em CA (Tabela 1). Os processos biológicos que acontecem na rizosfera do solo são influenciados pelos exsudatos radiculares das plantas, que influenciam a composição e estrutura da comunidade microbiana, o que pode estimular a produção de AIA. As florestas possuem sistema radicular com raízes profundas e permanentes, com matéria orgânica de fácil decomposição, favorecendo a atividade dos microrganismos do solo (Cerecetto *et al*., 2024). As práticas agrícolas, com fertilizantes minerais, herbicidas e irrigação podem impactar a diversidade e as funções destes microrganismos. Além disso, o solo sob PP podem reduzir a diversidade e afetar suas funções devido ao pisoteio e deposição de excrementos bovinos (Jiang *et al*., 2020).

O ecossistema com o maior potencial de IPS foi o PP, seguido de CA e FN. O menor potencial de IPS foi encontrado na FN (3,39 a 1,62 A/B) e o isolado com maior potencial foi o PP 59 (6,59 A/B). Entretanto, 56 % dos isolados tiveram alto IPS, o que mostra potencial em todos os ecossistemas (Figura 2). No CA e PP, o IPS pode ter sido estimulado principalmente devido a composição dos fertilizantes químicos, herbicidas e excretas dos animais, que possibilitam maior entrada de Fe no solo (Jiang *et al*., 2020). Os fertilizantes químicos e herbicidas possuem em sua composição a presença de outros metais como cobre (Cu), cadmio (Cd) e zinco (Zn), o que pode estimular a produção de sideróforos (Tamariz-Angeles *et al*., 2021).

O PEG 6000 reduz a água disponível, levando ao estresse hídrico e, nesta condição, a produção de AIA diminui (Ashry *et al*., 2022). Neste estudo, as BPCV da FN apresentaram maior produção de AIA e menor DO de crescimento na presença de PEG 6000, enquanto as BPCV do PP produziram menos AIA, mas exibiram maior DO de crescimento sob as mesmas condições (Tabela 1). Isso significa que os dados sugerem que os ecossistemas naturais são ambientes sustentam BPCV mais eficientes na produção de AIA, enquanto os ecossistemas cultivados abrigam BPCV mais tolerantes a estresse ambientais. Esses resultados contribuem para delinear estratégias mais eficientes de coleta de diversidade do solo para identificação de BPCV de interesse biotecnológico.

CONCLUSÃO

O ecossistema edáfico composto por FN abriga maior número de BPCV, com maior produção de AIA, mas menor tolerância ao estresse osmótico do que as bactérias de CA e PP.

BIBLIOGRAFIA

ALEMNEH, A. A.; ZHOU, Y.; RYDER, M. H.; DENTON, M. D. Soil environment influences plant growth-promotion traits of isolated rhizobacteria. **Pedobiologia**, v. 90, n. 150785, p. 150785, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150785>.

ASHRY, N. M.; ALAIDAROOS, B. A.; MOHAMED, S. A.; ET AL. Utilization of drought-tolerant bacterial strains isolated from harsh soils as a plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). **Saudi journal of biological sciences**, v. 29, n. 3, p. 1760–1769, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.054>.

CERECETTO, V.; LEONI, C.; JURBURG, S. D.; ET AL. Pasture-crop rotations modulate the soil and rhizosphere microbiota and preserve soil structure supporting oat cultivation in the Pampa biome. **Soil biology & biochemistry**, v. 195, n. 109451, p. 109451, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109451>.

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; PAULA, A. M. DE; MACEDA, A.; MATANNA, A. L. **Guia prático de biologia do solo**. Embrapa Semiárido. 152 p, (2016).

GORDON, S. A.; WEBER, R. P. Colorimetric estimation of indoleacetic acid. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 26, n. 1, p. 192- 195, (1951).

JIANG, Z.-Y., HU, Z.-M., LAI, D. Y. F., HAN, D.-R., WANG, M., LIU, M., ZHANG, M., & GUO, M.-Y. (2020). Light grazing facilitates carbon accumulation in subsoil in Chinese grasslands: A meta-analysis. **Global Change Biology**, 26(12), 7186–7197. https://doi.org/10.1111/gcb.15326

NAUTIYAL, C. S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. **FEMS Microbiology Letters**, 170(1), 265–270, (1999). Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytical Chimica Acta**, v.27, p.31-36, 1962. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5.

LOBATO-URECHE, M. A.; PÉREZ-RODRIGUEZ, M. M.; SEGURA, D.; MONASTERIO, R.; COHEN, A. C. Pseudomonas 42P4 and Cellulosimicrobium 60I1 as a sustainable approach to increase growth, development, and productivity in pepper plants. **Frontiers in sustainable food systems**, v. 6, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2022.1111573>.

TAMARIZ-ANGELES, C.; HUAMÁN, G. D.; PALACIOS-ROBLES, E.; OLIVERA-GONZALES, P.; CASTAÑEDA-BARRETO, A. Characterization of siderophore-producing microorganisms associated to plants from high-Andean heavy metal polluted soil from Callejón de Huaylas (Ancash, Perú). **Microbiological research**, v. 250, n. 126811, p. 126811, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2021.126811>.

VASQUES, N. C.; CEREZINI, P.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. **Bioprospecção de microrganismos para o uso em bioinsumos: métodos para triagem inicial de bioativos visando à nutrição de plantas e à tolerância a estresses abióticos e bióticos**. Embrapa Milho e Sorgo. 24 p. (2024).

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

POTENCIAL DE ISOLADOS MICROBIANOS INOCULADOS EM EUCALIPTO CONTRIBUIR NA NUTRIÇÃO DE FOSFATO

Jamily Micheli Pontes [1*], Josileia Acordi Zanatta[2], Krisle da Silva[2], Bruna Lunardon[1], Franciele Alba[3]
[1]Bolsista de IC da Embrapa Florestas; *jamilypontes15@gmail.com; [2]Pesquisadoras da Embrapa Florestas, [3]Bolsista de Apoio técnico da Embrapa Florestas

RESUMO

O fósforo geralmente se encontra em formas insolúveis no solo, o que dificulta a absorção pelas plantas. A solubilidade do fósforo é fundamental para a formação de adenosina trifosfato (ATP), que fornece energia para as plantas. Este estudo avaliou o efeito dos microrganismos solubilizadores, que auxiliam na disponibilização desse nutriente. Foram utilizadas de 20 a 36 mudas de eucalipto em cada tratamento, pertencentes a duas espécies: *Eucalyptus dunnii e Eucalyptus urograndis*. As plantas foram submetidas a oito tratamentos, sendo um deles o controle.

PALAVRAS-CHAVE: inoculação microbiana em eucalipto; microorganismos solubilizadores; solubilização de fósforo.

INTRODUÇÃO

Os solos tropicais são caracterizados pela elevada acidez e capacidade de fixação de fósforo. A acidez leva à imobilização do fósforo que fica preso em formas insolúveis no solo, o que pode dificultar o crescimento de culturas como o eucalipto, que exige uma elevada quantidade de fósforo para o seu desenvolvimento, principalmente nos primeiros anos de crescimento (SILVA, 2017).

O fósforo é um nutriente importante, pois desempenha um papel fundamental na fotossíntese, no desenvolvimento das raízes e na formação de sementes. No solo, o fósforo é encontrado em formas solúveis na solução do solo, de onde as plantas retiram a quantidade de P_2O_5 necessária ao desenvolvimento. Mas, elevadas quantidades de P_2O_5 está retido por precipitados com formas iônicas de Fe, Al e Ca como adsorvido por oxidróxidos de Fe e Al, presentes em solos tropicais intemperizados e comumente mais argilosos. Esse fenômeno dificulta a absorção pelas plantas (Silva Filho *et al*. (2002).

Uma alternativa para minimizar a imobilização de P é utilizar microrganismos com capacidade de solubilização de P, que, além de serem uma forma sustentável para reduzir as altas doses de adubos químicos, melhoram a disponibilidade do fósforo as plantas. Os microrganismos solubilizadores de fosfato são representados por uma gama de bactérias e fungos do solo, em que predominam os gêneros Bacillus, Pseudomonas, Penicillium e Asperillus. Os mecanismos adotados por microrganismos para solubilização de fosfato são baseado na produção e liberação de ácidos orgânicos como ácido glucônico, oxálico e cítrico, além da produção de enzimas do tipo fosfatase ácida e fitases. Com base nesse contexto e numa coleção de microrganismos selecionados previamente pela capacidade de solubilizar fosfato em condições de laboratório, a hipótese deste estudo é que a inoculação desses microrganismos solubilizadores de fósforo pode aumentar a disponibilidade desse nutriente no solo e, consequentemente, melhorar a absorção de fósforo pelas mudas de E. dunnii e E. urograndis, em comparação com o tratamento controle, em ambiente controlado.

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar o efeito da inoculação de microrganismos solubilizadores de fósforo no crescimento de mudas de eucalipto, foram utilizadas mudas de E. dunnii e E. urograndis, inoculadas com sete microrganismo e acrescidos de um tratamento controle, tanto positivo (dose completa de P_2O_5 com fertilizante químico) como negativo (sem P_2O_5). O experimento foi conduzido na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(Embrapa Florestas), localizada no município de Colombo - Paraná, em uma casa de vegetação sob condições controlada de irrigação. Para o desenvolvimento deste estudo, foram inoculados os seguintes microrganismos: CNPF 99, CNPF 806, CNPF 851, CNPF 859, CNPF 887, CNPF 873 e CNPF 1227. As mudas de eucalipto por sementes foram cultivadas em tubetes de 180 mL. Cada microrganismo inoculado foi combinado com dose crescente de P2O5 na forma química solúvel (MAP) para suprir 40%, 60% e 80% da dose de P2O5 recomendada para a cultura. Um tratamento adicional sem inoculante e com 0%, 40%, 60% e 80% e 100% de P2O na forma química também foi incluído no ensaio, sob as mesmas condições. Cada tratamento contou com 20 a 35 repetições.

O ensaio foi conduzido por 80 dias, entre 08 abril a 01 julho de 2024. A colheita das plantas ocorreu com o corte da parte aérea, seguida de lavagem da raiz. Ambos componentes foram secos em estufa a 65ºC e posteriormente pesados. Após a pesagem, as amostras moídas, passaram por uma digestão seca, para determinação de fósforo no tecido vegetal. Para determinação de P no tecido vegetal foram pesados 100 mg de material seco no cadinho, transferido para a mufla, onde foi mantido a uma temperatura de 550ºC até a completa incineração, evidenciada pela formação de cinzas brancas. Após isso, foi adicionado 10 ml de ácido clorídrico 0,1 mol/L para dissolver a amostra. Em seguida, 0,2 ml do extrato obtido foi transferido para a cubeta e adicionado 0,8 ml de água purificada. Foi pipetado 1,0 ml de cada padrão de calibração (0,1, 2, 4 e 8 mg/L), seguido pela adição de 0,2 ml de ácido. Por fim, foram adicionados 2,5 ml de molibdato de amônio diluído.

A quantificação de fósforo foi realizada por espectrofotometria UV-Vis, utilizando um espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm, conforme o método do azul de molibdênio. Com os dados de biomassa da parte aérea e raiz e os dados da concentração de P no tecido vegetal foram estimadas as quantidades de P no tecido vegetal das plantas. Esses dados foram analisados por análise fatorial (microrganismo e doses de P) com ANOVA e teste de Tukey, utilizando o software RStudio com o pacote agrícolae.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1 e 2 mostram a massa seca (MS) das mudas de eucalipto em mg e quantidade de P acumulada na MS para diferentes espécies e tratamentos. Os dados refletem a absorção de fósforo por E. dunnii (Figura 1) e E. urograndis (Figura 2) sob tratamento com microrganismos solubilizadores de fosfatos. Para o E. dunnii, na dose de 40% e 80% de P_2O_5 não houve diferença significativa entre a MS da parte aérea, independente do microrganismo inoculado. No entanto, na dose de 60%, apenas o microrganismo CNPF 806 foi inferior ao controle positivo; todos os demais tratamentos inoculados tiveram produção de MS equivalente ao tratamento controle. A maior produção de MS também refletiu na quantidade de P acumulado, destacando o tratamento CNPF 99 com quantidade de P igual ao controle positivo.

De modo geral o E. urograndis produziu menor quantidade de MS do que o E. dunnii. No entanto, o P acumulado foi maior no E. urograndis. No E. urograndis, a produção de MS, na dose de 40% de P_2O_5. não diferiu entre tratamentos inoculados com microrganismos. Já nas doses de 60% e 80%, o tratamento CNPF 99 teve destaque refletindo em maior produção de MS, de forma isolada na dose de 60% de P_2O_5 e acompanhada por outros microrganismos na dose de 80% de P_2O_5. Com relação ao acúmulo de P na MS, não houve diferença siginificativa entre os microrganismos, mas há uma tendência de maior acúmulo de P com a estirpe CNPF 99, em todas as combinações de doses de P_2O_5.

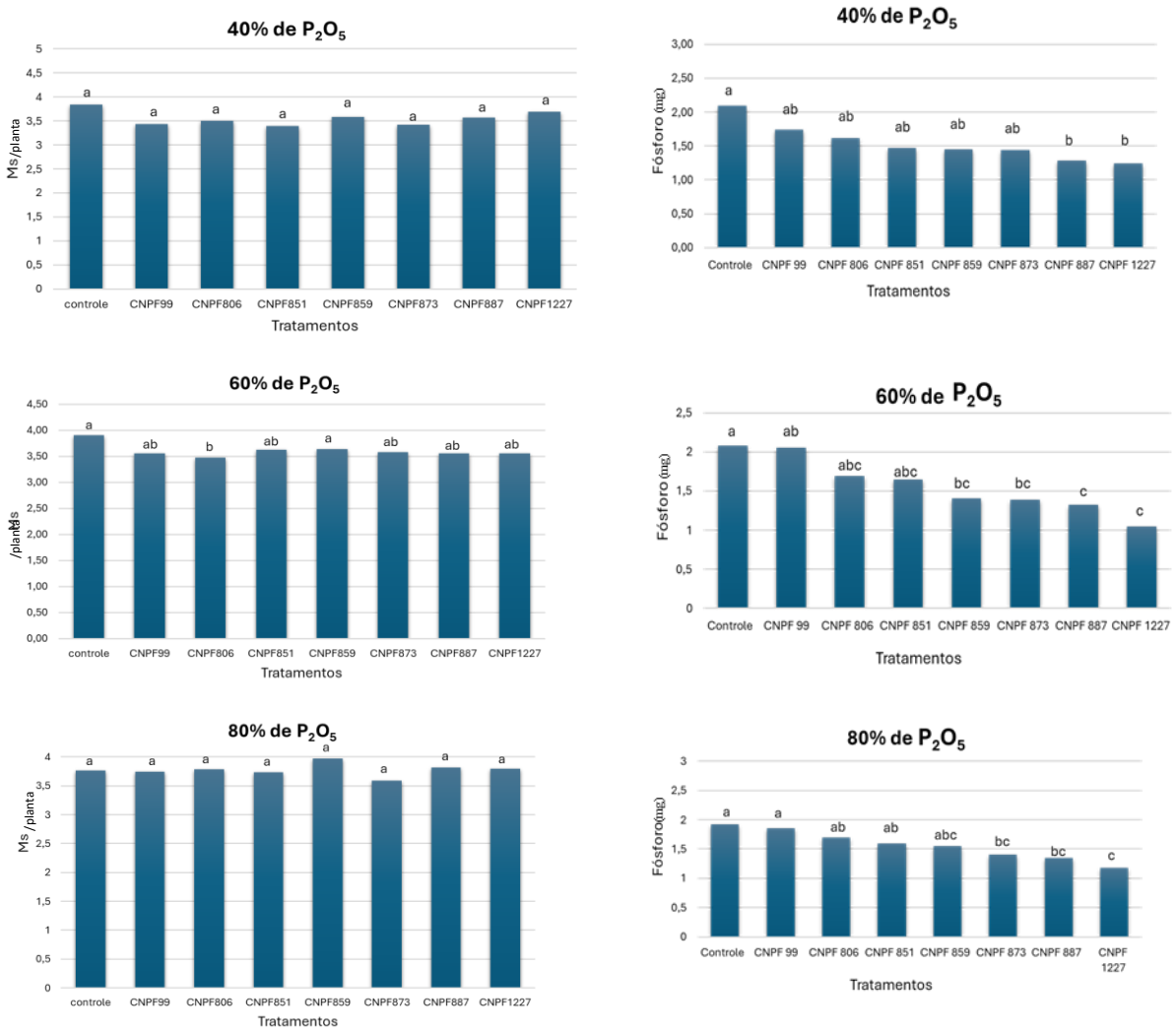


Figura 1. Produção de matéria seca em miligramas (MS) e quantidade de P acumulado na MS em mudas de E. dunni, quando inoculadas com microrganismos com potencial de solubilizar fosfato.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que a inoculação de microorganismos solubilizadores de fósforo tem efeitos distintos na absorção desse nutriente *por Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis*. Notadamente há microrganismos com potencial para aumentar a produção de MS e P acumulado em mudas de eucalipto, podendo ser alternativa para substituir parcialmente a dose de P recomendada. Em destaque para as duas espécies florestais, a estirpe CNPF 99, que apresentou melhor desempenho nas concentrações de 60% e 80%, enquanto os CNPFs 887 e 1227 foram menos eficientes.

Este estudo reforça que micro-organismos solubilizadores de fósforo podem contribuir para a absorção desse nutriente. No entanto, sua eficácia está condicionada à interação entre a espécie vegetal, a disponibilidade de fósforo no solo e as características dos micro-organismos utilizados. Para aprofundar esses achados, estudos futuros podem explorar a combinação de diferentes isolados. Como o isolado CNPF 99 apresentou melhor desempenho, seria relevante avaliar sua eficácia em diferentes concentrações, além de realizar testes em campo aberto para analisar sua resposta em condições não controladas. Além disso, investigações em solos de diferentes texturas, como arenoso, argiloso e latossolos, poderiam fornecer uma compreensão mais ampla de seu potencial de aplicação.

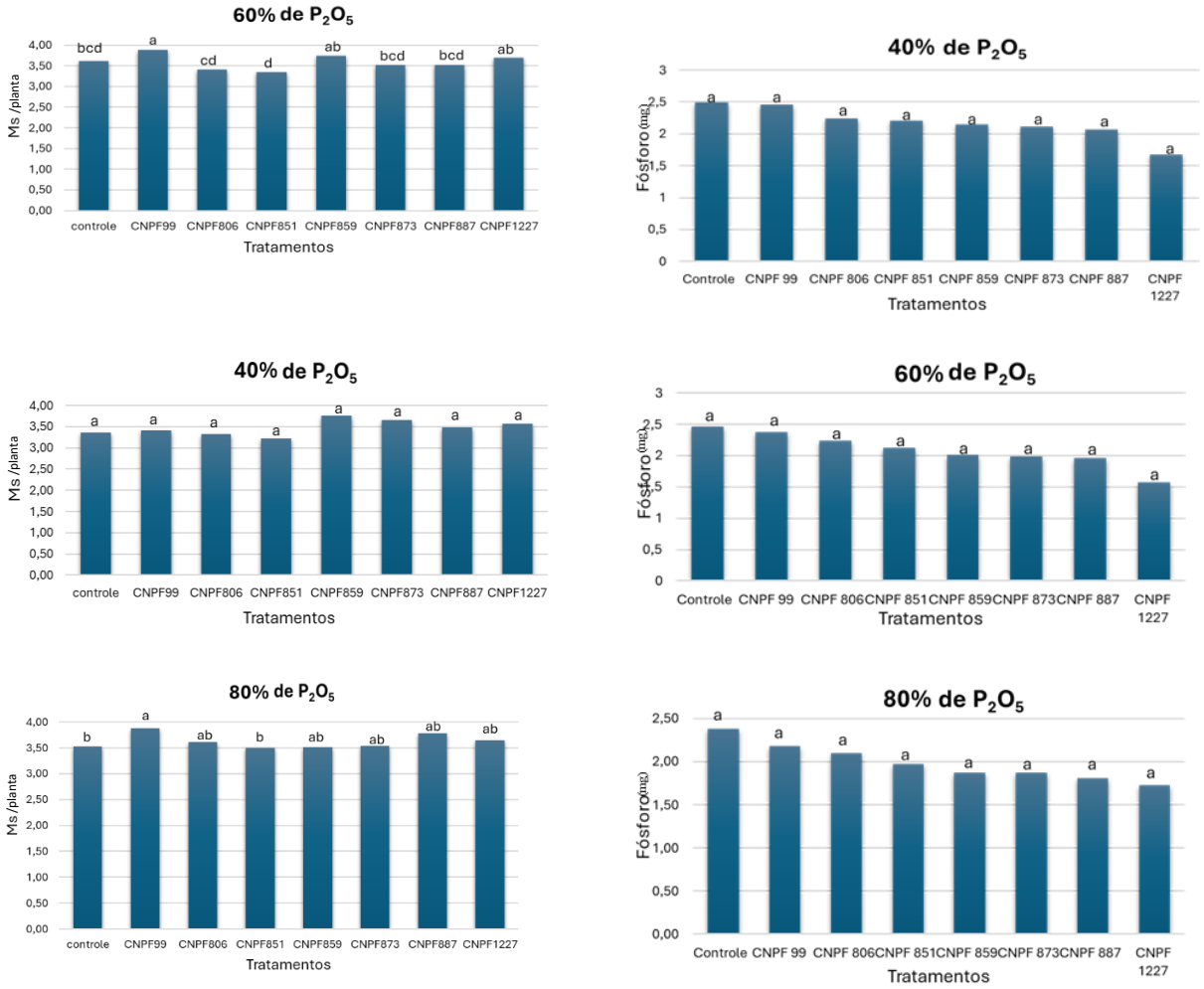


Figura 2. Produção de matéria seca (MS) e quantidade de P acumulado na MS em mudas de *E. urograndis*, quando inoculadas com microrganismos com potencial de solubilizar fosfato.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Klabin S. A. e a Embrapa pela realização da pesquisa em parceria.

BIBLIOGRAFIA

SILVA, Joviany Talita da. **Azospirillum brasilense e Bacillus subtilis solubilizadores de fósforo em mudas de eucalipto**. 2017.

SILVA FILHO, Germano Nunes; NARLOCH, Charles; SCHARF, Rosana. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 847-854, 2002.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DE CONSÓRCIOS MICROBIANOS MULTIFUNCIONAIS NO CRESCIMENTO INICIAL DE MILHO

Murilo Francisco Travençoli Rossetim[1*], Heila Silva de Araújo Alencar[3], Guilherme Adrião Lomba[2], Glaciela Kaschuk[4]

[1,] Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, UFPR.*murilorossetim@hotmail.com, [2]Bióloga, Técnica de Laboratório, UFPR. [3]Graduando em Agronomia, UFPR. [4]Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR.

RESUMO

A combinação de vários inoculantes para formar consórcios microbianos multifuncionais pode afetar o desenvolvimento inicial do milho. Em casa de vegetação, o milho foi inoculado com 27 combinações de seis inoculantes comerciais e avaliado com relação à porcentagem de plantas emergidas, altura das plantas, comprimento das raízes e massa da parte aérea e das raízes. A produção de ácido cianídrico (HCN) pelas mesmas combinações de inoculantes foi avaliada em laboratório. Os tratamentos consorciados com *Trichoderma harzianum* resultaram em uma menor porcentagem de plantas emergidas e produção de HCN. O consórcio de seis inoculantes e a coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Priestia aryabhattai* aumentaram a emergência de plantas em 30% e 34%, respectivamente, em relação ao controle. Os tratamentos afetaram a altura e a massa das plantas. Portanto, os consórcios microbianos afetam o desenvolvimento inicial do milho. É necessário planejar adequadamente as combinações dos inoculantes para benefício da cultura.

PALAVRAS-CHAVE: inoculação na semente; *Zea mays* L.; microrganismos promotores de crescimento vegetal

INTRODUÇÃO

Os inoculantes formulados com microrganismos selecionados são amplamente utilizados na agricultura para promover o crescimento vegetal (Goulet, 2021). Os produtos que se destacam são a base dos microrganismos *Azospirillum brasilense* (*Ab*), *Pseudomonas fluorescens* (*Pf*), *Priestia aryabhattai* (*Pa*), *Bacillus subtillis* (*Bs*) e *Priestia megaterium* (*Pm*), *Trichoderma harzianum* (*Th*) e *Rhizophagus intraradices* (*Ri*) que tem sua eficácia comprovada para a cultura do milho (*Zea mays* L.) (Hungria, 2011, Zarei *et al*., 2019, Fuga *et al*.,2023, Oliveira-Paiva *et al*., 2020, Akladious e Abbas, 2012, Stoffel *et al*., 2020). Muitos desses inoculantes têm seus efeitos potencializados quando aplicados em coinoculação (Kaschuk *et al*. 2022) ou em consórcios (Molina-Romero *et al*., 2021) devido aos seus possíveis efeitos aditivos. Entretanto, os consórcios precisam ser bem avaliados para garantir o crescimento da cultura.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de testar a hipótese de que os consórcios microbianos multifuncionais afetam a emergência e o crescimento inicial de plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de casa de vegetação foi conduzido no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba, Paraná no período de 09 de janeiro a 08 de fevereiro de 2025. A cultivar de milho utilizada foi a Biomatrix Glyfos RR e conduzido até o estádio V1. Os inoculantes comerciais foram aplicados diretamente sobre as sementes em sacos plásticos na dose recomendada pelo fabricante (Tabela 1). O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 27 combinações de inoculantes e 4 repetições, sendo cada repetição, uma bandeja de polietileno com 50 células. Para o experimento, foi utilizado uma mistura de vários solos e de fertilizantes, resultando em um substrato com as seguintes características químicas e granulométricas: pH = 7,12; pH SMP = 7,71; P disponível = 126,42 mg dm^{-3}:, K disponível = 3,83 $cmol_c$ dm^{-3}; C orgânico do solo = 12,32 g dm^{-3}; Ca = 13,08 $cmol_c$ dm^{-3} ; Mg = 1,30 $cmol_c$ dm^{-3} ; CTC a pH 7,0 = 19,65 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC efetiva = 18,23 $cmol_c$ dm^{-3}; Saturação de Bases, V = 92,7 %; Saturação por alumínio, m = 0%; Argila = 319 g kg^{-1}; Areia = 575 g kg^{-1}; Silte = 106 g kg^{-1}.

A porcentagem de plantas emergidas foi determinada pela relação entre número de plantas emergidas e sementes não germinadas em cada uma das bandejas. A altura de planta, comprimento de raiz, massa seca de planta e raiz foram determinadas em cinco plântulas por bandeja colhidas aleatoriamente. A produção de ácido cianídrico (HCN) pelas combinações de inoculantes foi determinada seguindo a metodologia qualitativa proposta por Cattelan, (1999). Os dados foram submetidos à análise estatística usando o software R (Team, 2010), o pacote ExpDes.pt e o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1. Microrganismos utilizados, sua função e dose utilizada.

ID	Microrganismo	Concentração	Função	Dose
Ab	*Azospirillum brasilense* AbV5 + AbV6	$4x10^8$ células/mL	Fitormônios	0,4 mL
Pf	*Pseudomonas fluorescens* CCTB03	$1x10^8$ UFC/mL	Fitormônios	0,2 mL
Pa	*Priestia aryabhattai* CMAA 1363	$1x10^8$ UFC/mL	Resistência à seca.	0,4 mL
Bs/Pm	*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 (BRM034840) *e Priestia megaterium* CNPMS B119 (BRM033112)	$4x10^9$ UFC/mL	Solubilização de P	0,55 mL
Th	*Trichoderma harzianum* CCT7589	$1x10^9$ UFC/L	Controle de fitopatógenos	0,3 mL
Ri	*Rhizophagus intraradices*	167.000 propágulos /g	Diversos	0,032 g

Notas: ID (Identificação do inoculante no tratamento da tabela 2), Dose: Recomendada pelo fabricante do produto comercial para cada 100 g de semente. Para cada tratamento além do respectivo inoculante foi utilizado 0,1 mL de fixador diluído em água a base de maltodextrina nas sementes. Na análise de HCN apenas o inoculante puro foi utilizado nas mesmas doses recomendadas. O inoculante F foi diluído em água na proporção de 0,4 mL para cada 100 g de sementes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento evidenciou que o consórcio de microrganismos multifuncionais afetou o desenvolvimento inicial do milho. A variável mais afetada foi a porcentagem de plantas emergidas, enquanto a altura e massa de plantas emergidas foram menos afetadas pelos tratamentos (Tabela 2).

Os tratamentos incluindo todos os microrganismos (*Ab+Pf+Pa+Bs+Th+Ri*) e a coinoculação de *Ab+Pa* apresentaram os maiores valores de emergência de plantas, respectivamente, em 30% e 34%, maiores do que o controle. A maioria desses inoculantes produzem fitohormônios (Fukami *et al*., 2017, Park *et al*., 2017) e devido a sua comprovada promoção de crescimento vegetal (Hungria, 2011, Fuga *et al*., 2023) foram bons inoculantes para a composição de consórcios microbianos no milho.

Exceto pela combinação de todos os inoculantes, os consórcios com *Th* reduziram a emergência de plantas, e foram os que mais produziram HCN (Tabela 2). A produção de HCN por estirpes de *Trichoderma* (Rawat e Tewari, 2011) pode afetar a germinação, o comprimento de raiz e a massa seca de plantas, inibindo assim o crescimento vegetal (Alstrom e Burns, 1989). Porém, é importante considerar que o resultado deste estudo é proveniente de uma única estirpe de *Trichoderma*, sendo necessário novos estudos com diferentes estirpes.

De maneira geral, os resultados desse experimento corroboram resultados obtidos por Travençoli Rossetim *et al*., (2025), que demonstraram que os consórcios microbianos podem afetar o crescimento vegetal da soja. Porém, devido à plasticidade fenotípica da soja, os efeitos foram mitigados pelo ajuste de arquitetura a diferentes densidades de plantio. É provável que os efeitos dos consórcios sobre o milho não sejam compensados ao longo do tempo porque os híbridos atuais não ajustam sua arquitetura à densidade de plantio, o que pode resultar em redução de produtividade (Calonego *et al*., 2011).

Tabela 2. Tratamentos e resultados de produção de HCN pelos microrganismos e de indicadores de crescimento do milho.

Tratamento	HCN	% de plantas emergidas	Altura (cm)	Comprimento de raiz (cm)	Massa de planta (g)	Massa de raiz (g)
Controle	-	58,5b	11,95a	12,4b	0,167a	0,239
Ab	-	32c	12,1a	11,5b	0,125b	0,235
Pf	-	57b	12a	14,1a	0,161a	0,315
Pa	-	54,5b	11,35a	10,8b	0,143b	0,274
Bs	-	58,5b	12,9a	13,1a	0,152b	0,29
Th	+	38c	12,15a	12,1b	0,151b	0,241
Ri	-	44c	12,85a	11,9b	0,179a	0,371
Ab+Pf	-	43c	15,1 a	11,2b	0,197a	0,267
Ab+Pa	+	89,25a	14,05 a	13,95a	0,219a	0,355
Ab+Bs	-	48,5b	12,45a	10,5b	0,143b	0,3
Ab+Th	+	50b	10,70a	11,95b	0,131b	0,3
Ab+Ri	-	35,5c	12,8a	16,05a	0,123b	0,188
Th+Ri	+	33c	14a	12,95a	0,130b	0,18
Pf+Pa	-	48,5b	12,9a	10,3b	0,148b	0,287
Ab+Pf+Bs	-	46c	12,95a	13,5a	0,167a	0,282
Ab+Bs+Ri	+	42c	14,15a	10,65b	0,156b	0,253
Ab+Th+Ri	+	44c	11,95a	12,05b	0,122b	0,198
Pf+Pa+Bs	-	42,5c	13,05a	11,4b	0,139b	0,272
Pf+Th+Ri	-	40c	12,55a	15,05a	0,168a	0,268
Pa+Th+Ri	+	34,5c	11,05a	11,75b	0,128b	0,301
Ab+Pf+Pa+Bs	-	58,5b	11,75a	10,3b	0,143b	0,276
Pf+Pa+Bs+Th	+	43c	13,25a	11,8b	0,162a	0,265
Pf+Bs+Th+Ri	-	44,5c	12,75a	11,85b	0,180a	0,313
Ab+Pf+Pa+Bs+Ri	-	45c	13,45a	11,15b	0,138b	0,241
Ab+Pf+Pa+Th+Ri	+	48,5b	11,65a	11,65b	0,163a	0,293
Pf+Pa+Bs+Th+Ri	+	39c	13,15a	12,85a	0,144b	0,224
Ab+Pf+Pa+Bs+Th+Ri	+	83,5a	14,2a	14,45b	0,182a	0,23
CV%		23,83	11,8	17,53	19,14	26,55

Notas: Teste de Scott-Knott a 5%. Para a variável HCN: + indica presença e – ausência de produção de HCN.

CONCLUSÕES

Os consórcios microbianos multifuncionais afetam a emergência e o crescimento inicial do milho, assim o planejamento de consórcios deve considerar a compatibilidade entre os diferentes microrganismos afim de maximizar efeitos benéficos e diminuir possíveis inibições no crescimento vegetal. Novos estudos são necessários a fim de avaliar diferentes estirpes, cultivares e condições ambientais sobre os efeitos observados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UFPR e ao INCT Microrganismos promotores de crescimento de plantas, pelo suporte financeiro, à Capes e ao CNPq, respectivamente, pelas bolsas de estudo.

BIBLIOGRAFIA

AKLADIOUS, S. A.; ABBAS, S. M. Application of *Trichoderma harzianum* T22 as a biofertilizer supporting maize growth. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 35, p. 8672-8683, 2012.

ALSTRÖM, S.; BURNS, R. G. Cyanide production by rhizobacteria as a possible mechanism of plant growth inhibition. **Biology and Fertility of Soils**, v. 7, p. 232-238, 1989.

CALONEGO, J. C; POLETO, L. C.; DOMINGUES, F. N.; TIRITAN, C. S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. **Agrarian**, v. 4, n. 12, p. 84-90, 2011.

CATTELAN, A. J. **Métodos quantitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 139).

FUGA, C. A. G.; CAIXETA, G. A. N.; CAIXETA, C. F.; MELO, I. S. Growth promotion in maize (*Zea mays* L.) by *Bacillus aryabhattai* strain CMAA 1363. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 3, p. e3340, 2023.

FUKAMI, J.; OLLERO, F. J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. **AMB express**, v. 7, p. 1-13, 2017.

GOULET, F. Characterizing alignments in socio-technical transitions. Lessons from agricultural bio-inputs in Brazil. **Technology in society**, v. 65, p. 101580, 2021.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo.** Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36p. (Embrapa Soja. Documentos, 325).

KASCHUK, G.; AULER, A. C.; VIEIRA, C. E.; DAKORA, F. D.; JAISWAL, S. K.; CRUZ, S. P. Coinoculation impact on plant growth promotion: a review and meta-analysis on coinoculation of rhizobia and plant growth-promoting bacilli in grain legumes. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 53, n. 4, p. 2027-2037, 2022.

MOLINA-ROMERO, D.; JUÁREZ-SÁNCHEZ, S.; VENEGAS, B.; ORTÍZ-GONZÁLEZ, C. S.; BAEZ, A.; MORALES-GARCÍA, Y. E.; MUÑOZ-ROJAS, J. A bacterial consortium interacts with different varieties of maize, promotes the plant growth, and reduces the application of chemical fertilizer under field conditions. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 616757, 2021.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S..; LANA, U. G. P.; SANTOS, F. C.; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos®(*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).

PARK, Y.G.; MUN, B. G.; KANG, S. M.; HUSSAIN, A.; SHAHZAD, R.; SEO, C. W.; KIM, A. Y.; LEE, S. U.; OH, K. Y.; LEE, D. Y.; LEE, I. J.; YUN, B. W. *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and

promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PloS one**, v. 12, n. 3, p. e0173203, 2017.

RAWAT, R.; TEWARI, L. Effect of abiotic stress on phosphate solubilization by biocontrol fungus *Trichoderma* sp. **Current microbiology**, v. 62, p. 1521-1526, 2011.

TRAVENÇOLI ROSSETIM, M. F.; VARGAS MOTTA, A. C.; ROCHA KONDO, Y.; SANTOS RUTHES, B. E.; HUNGRIA, M.; FALCÃO SALLES, J.; KASCHUK, G. Enhancing Soybean Yield Through Inoculation of Multifunctional Microbial Consortia. **International Journal of Agronomy**, v. 2025, n. 1, p. 9491715, 2025.

STOFFEL, S. C. G.; SOARES, C. R. F. S.; MEYER, E.; LOVATO, P. E.; GIACHINI, A. J. Yield increase of corn inoculated with a commercial arbuscular mycorrhizal inoculant in Brazil. **Ciência Rural**, v. 50, n. 7, p. e20200109, 2020.

TEAM, R. Development Core. R: A language and environment for statistical computing. **(No Title)**, 2010.

ZAREI, T.; MORADI, A.; KAZEMEINI, S. A.; FARAJEE, H.; YADAVI, A. Improving sweet corn (*Zea mays* L. var *saccharata*) growth and yield using *Pseudomonas fluorescens* inoculation under varied watering regimes. **Agricultural water management**, v. 226, p. 105757, 2019.

RESPOSTA DAS ERVILHAS FORRAGEIRAS E DE GRÃO A INOCULAÇÃO COM RHIZOBIUM ASSOCIADA AO TRATAMENTO DE SEMENTES COM FUNGICIDAS

Heder Asdrubal Montañez Valencia[2], Maria Aparecida de Matos[1], Higo Forlan Amaral[3], Inês Fumiko Ubukata Yada[1], Diva Souza Andrade[1*]

[1]Pesquisador Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná-IDR-IAPAR-EMATER, 86047-970, Londrina, Paraná, Brasil; [2]Doutorando Programa de pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina-UEL, IDR-IAPAR-EMATER, 86047-970, Londrina, Paraná, Brasil; [3]Professor do Programa de Pós-graduação em Agroecologia, Universidade Estadual de Maringá-UEM, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *diva@idr.pr.gov.br

RESUMO

O efeito do tratamento de sementes com fungicidas benomil e thiram na resposta da ervilha à inoculação com *Rhizobium* foi avaliado em cultivares forrageiras (Poneka e IAPAR-83) e de grãos IAPAR-74. Em casa de vegetação, a massa seca dos nódulos foi maior nas cultivares IAPAR-83 e Poneka quando o tratamento peletizado foi combinado com benomil+thiram. Para a IAPAR-74, a inoculação aumentou a massa seca de nódulos. No campo, para a IAPAR-83, maior nodulação foi observada com fungicida e inoculação. Aplicação de benomil+thiram aumentou a nodulação e o rendimento de grãos da IAPAR-74. A inoculação+ benomil+thiram resultou em maior acúmulo de N (98 kg ha^{-1}), proteína (613 kg ha^{-1}) e grãos (2.458 kg ha^{-1}). Aplicação prévia de benomyl+thiram e inoculação aumenta a nodulação e a produtividade da IAPAR-74. A inoculação da IAPAR-83 sem fungicidas apresenta maior nodulação produtividade de grãos, enquanto a cv Poneka tem maior produtividade de grãos com N-fertilizante.

PALAVRAS-CHAVE: benomyl; *Pisum sativum; Rhizobium leguminosarum* bv viceae; thiram.

INTRODUÇÃO

A ervilha (*Pisum sativum*), assim como outras leguminosas, tem grande importância para a segurança alimentar devido ao alto teor de proteínas, fibras, minerais e vitaminas nos grãos. Em um estudo de análise bibliométrica sobre fixação biológica de nitrogênio (FBN) na ervilha, observou-se que, em geral, a inoculação de rizóbios aumenta o rendimento de grãos em aproximadamente 24% em comparação aos tratamentos não inoculados, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes nitrogenados (Valencia *et al*., 2024). Em solos brasileiros sem histórico de cultivo de ervilha, geralmente, a bactéria simbiôntica, *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae*, está ausente ou presente em população insuficiente para formar nodulação efetiva. Nessas condições, a inoculação com estirpes selecionadas é uma prática fundamental para contribuir com o aumento da FBN (Voss *et al*., 1987).

O tratamento de sementes com inseticidas e fungicidas é uma prática agrícola que visa proteger a planta em seu estágio inicial contra doenças. Entretanto, além de proteger contra patógenos, essas substâncias, pertencentes a diferentes grupos químicos (carbamatos, ditiocarbamatos, piretróides, benzimidazóis, ftalimidas e outros), também podem inibir a sobrevivência e multiplicação de microrganismos, incluindo rizóbios inoculados ou aqueles presentes na rizosfera da planta, comprometendo, assim, a FBN.

Neste estudo, a hipótese é que produtos químicos utilizados no tratamento de sementes para proteger a ervilha de doenças no início do cultivo podem afetar de forma variada bactérias fixadoras de nitrogênio. Dessa forma, o objetivo foi avaliar os efeitos dos fungicidas benomyl e thiram na nodulação e produção de ervilhas forrageiras e de grão inoculadas com *Rhizobium leguminosarum*, em condições de casa de vegetação e de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Três experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, localizada na estação experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná-IDR-IAPAR-EMATER, em Londrina, PR, para avaliar o tratamento de sementes e a inoculação de ervilha (*Pisum sativum* L.), produtora de grãos (cv IAPAR 74), e duas cultivares (IAPAR 83 e Poneka) de forrageiras (*Pisum sativum* subsp. Arvense L.). Foram utilizados vasos de plástico contendo 2,8 kg de solo, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, coletado na camada de 0-20 cm. Para correção da fertilidade do solo, foram adicionados fósforo (P) e potássio (K) utilizando a fórmula 0-30-10 (N: P: K) na dose equivalente a 800 kg ha^{-1}.

Os tratamentos foram: i) controle, ii) inoculação de sementes com rizóbio sem tratamento de sementes, iii) inoculação de sementes com rizóbio + tratamento de sementes com benomyl + thiram, iv) inoculação de solo com rizóbio + sementes tratadas com benomyl + thiram, e v) inoculação com rizóbio em forma peletizada e tratamento químico de sementes com uma mistura de dois fungicidas, benomyl e thiram. Os produtos comerciais utilizados foram Benlate® e VitavaxThiram®. O produto Benlate® é um pó molhável, contendo benomyl, ou metil 1-(butilcarbamoil)-2-benzimidazolecarbamato que é o ingrediente ativo do fungicida. O produto VitavaxThiram® contém os seguintes ingredientes ativos: 5,6-diidro-2-metil-1,4-oxatiino-3-carboxanilida (Carboxin, 200 g L^{-1}), dissulfeto de tetrametiltiuram (Thiram 200 g L^{-1}), 249 g L^{-1} de etilenoglicol e 507 g L^{-1} de outros ingredientes (ADAPAR, 2020). As sementes foram desinfestadas superficialmente com álcool 70% por 3 min e hipoclorito de sódio 3% por 5 min, em seguida as sementes foram lavadas sucessivamente 10 vezes com água estéril. Primeiramente as sementes foram tratadas com a mistura 1:1 de benomil e thiram, na proporção de 1 g kg^{-1} de sementes. As sementes de ervilha foram inoculadas com uma mistura de estirpes de *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae* (CPAC EV5 e CPAC EV6). O inoculante foi aplicado na proporção de 1 kg de inoculante turfoso para 40 kg de sementes. Para a formação dos pellets foram utilizados 40% de goma arábica e uma mistura de fosfato de rocha e micronutrientes na proporção de 0,5 g kg^{-1} de semente. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco repetições. Aos 39 dias após a emergência, as plantas foram coletadas para determinação da matéria seca e nitrogênio da parte aérea e peso seco de nódulos.

Os experimentos de campo foram realizados na estação experimental do IDR-Paraná, em Ponta Grossa, PR, que está localizada a 25º 05 '58'' S, 50º 09' 30'' W e a 990 m.a.s.l., o clima é classificado como *Cfb*. O solo é classificado como podzólico vermelho amarelo. No primeiro experimento foi utilizada uma cultivar grãos (Polo PG01) e no segundo e terceiro experimentos, duas cultivares de ervilha forrageira (IAPAR Vitorino e IAPAR Poneka). Os tratamentos foram: i) testemunha sem N-fertilizante e sem inoculação, ii) inoculação com rizóbio, iii) inoculação com rizóbio + tratamento de sementes com Benomyl + Thiram e iv) N-fertilizante e sem inoculação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições.

O benomyl + thiram (1:1) na dose de 1 g kg^{-1} de sementes foi aplicado antes do plantio e da inoculação. O inoculante à base de turfa contendo as estirpes CPAC EV5 e CPAC EV6 foi aderido às sementes com 40% de goma arábica e fosfato de rocha na dose de 0,5 g kg^{-1} de sementes para formar o pellet. Em todos os tratamentos foi aplicado 200 k ha^{-1} da fórmula 0-30-10 (N:P:K) no sulco de plantio. O tratamento com 20 kg N ha^{-1} no plantio mais 40 kg N ha^{-1} em cobertura foi com sulfato de amônio. As parcelas experimentais foram de 5 m de comprimento x 1,8 m de largura, com seis linhas espaçadas de 0,3 m e aproximadamente 18-20 sementes por metro linear.

As avaliações foram realizadas aos 34 e 90 dias após a emergência, a massa seca dos nódulos foi avaliado utilizando 9 a 12 plantas da 2ª e 5ª linhas de cada parcela. Na maturação fisiológica dos grãos, foram avaliados o estande e a produção de grãos e vagens. O teor de nitrogênio no grão foi determinado, e o teor de proteína no grão foi calculado multiplicando o teor de N, determinado pelo método de digestão, pelo fator 6,25.

Os dados foram analisados quanto à distribuição normal e homogeneidade de variância e, quando necessário, transformados utilizando a raiz quadrada de (x+k), onde (k = 1). A análise estatística foi realizada por meio de análise de variância unidirecional (ANOVA) e, quando o teste F indicou significância ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades químicas do solo dos experimentos de casa de vegetação e campo estão apresentadas na Tabela 1.

De forma geral, os solos 1 e 2 utilizados nos experimentos apresentavam pH em cloreto de cálcio variando de 5,00 a 5,10 e teores moderados de matéria orgânica. O teor de nitrogênio total se manteve semelhante entre os solos, enquanto a disponibilidade de fósforo permaneceu baixa em ambos. A acidez potencial foi ligeiramente superior no Solo 2, que também se destacou pelos teores mais elevados de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), indicando melhor fertilidade química. A capacidade de troca de cátions (CTC) se mostrou maior no Solo 2, sugerindo uma maior retenção de nutrientes. A saturação por alumínio (m%) permaneceu baixa, proporcionando um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular. A saturação por bases (V%) se manteve em nível moderado, com valores mais elevados no Solo 2.

Tabela 1. Propriedades químicas, na camada de 0 a 0,20 m, dos solos 1 e solo 2 dos experimentos de casa de vegetação e de campo, respectivamente, antes da adubação de plantio.

Solos	pH	C	N	P	$H^+ + Al^{3+}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CTC	Sat Al	V
		$g\ dm^{-3}$	$mg\ dm^{-3}$		$C_{molc}\ dm^{-3}$					%	
1	5.0	27.13	2.36	3.5	6.21	4.40	2.35	0.16	13.12	0.71	52.66
2	5.1	27.81	2.40	4.2	6.70	5.12	3.05	0.20	15.05	0.59	55.61

pH em $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}, C = carbono total (Walkley-Black). N = Nitrogênio total estimado a partir do C total pela equação N = (C 1,724)/20. H + Al em SMP, Ca^{2+} e Mg^{2+}= extrator KCl 1 mol L^{-1}, P e K^+ = extrator Mehlich-I, CTC = Capacidade de troca catiônica em pH 7,0 ($CaCl_2$), Sat Al=saturação por alumínio; V (%)=saturação por bases.

Experimentos de casa de vegetação

Para as três cultivares de ervilhas, não houve formação de nódulos nas raízes no tratamento controle, indicando ausência ou baixa população de rizóbios nativos no solo capazes de nodular essas leguminosas.

A inoculação da mistura de estirpes de *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* (CPAC EV5 e CPAC EV6) resultou em efeitos positivos na nodulação das três ervilhas avaliadas (IAPAR 74, IAPAR 83 e cv Poneka), promovendo aumento significativo. Para a ervilha de grão (IAPAR 74), a massa seca de nódulos variou de 16 mg 3 planta^{-1} com inoculação e com Benomyl + Thiram a 53 mg 3 planta^{-1}. No entanto, incremento na massa seca da parte aérea foi observado apenas para cv IAPAR Vitorino, possivelmente divido a relação eficiência simbiótica e cultivares. O N acumulado na parte aérea das ervilhas não foi alterado pelos tratamentos. Estudos anteriores mostram que, em solos de baixa fertilidade, estirpes nativas de *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae*, isoladas de *Pisum sativum*, apresentam maior nodulação e eficiência na fixação biológica de nitrogênio (FBN) quando inoculadas em leguminosas forrageiras tais como: *P. sativum*, *Vicia sativa* e *Vicia villosa*, superando a estirpe comercial padrão (Yates *et al*., 2021). Esses resultados reforçam a importância da seleção de estirpes adaptadas às condições edafo-climáticas locais para maximizar os benefícios da FBN.

Experimento de campo

Para a ervilha de grãos (cultivar IAPAR 74), os tratamentos controle e N-mineral reduziram significativamente a massa seca de nódulos (31 e 44 mg 3 planta^{-1}, respectivamente) quando comparados ao tratamento inoculado (129 mg 3 planta^{-1}) e ao inoculado + fungicida (219 mg 3 planta^{-1}). Esses resultados sugerem que, em condições de campo, os fungicidas utilizados benomyl + thiran não afetaram negativamente a inoculação. A inoculação associada ao tratamento de semente resultou em maiores quantidades de N (98 kg ha^{-1}) e proteína acumulada nos grãos (613 kg ha^{-1}), além de uma maior produtividade de grãos de 2458 kg ha^{-1}, sem diferenças em relação ao tratamento com N-fertilizante.

As duas cultivares de ervilha forrageira apresentaram menores valores de massa seca de nódulos no tratamento com N-fertilizante (IAPAR 83 = 35 e poneka 34 mg planta^{-1}) e no controle sem inoculação (IAPAR 83 = 30,03 e poneka = 29,79 mg planta^{-1}), enquanto no tratamento com benomy+thiran e inoculado com *Rhizobium* não reduziu a nodulação, sendo de 148 mg planta^{-1} na cv IAPAR-83 e de 214 mg planta^{-1} na cv poneka. O teor de N e proteína nas sementes variou de acordo com os tratamentos. Para a cv IAPAR 83, a produtividade de grãos foi maior no tratamento inoculado, embora sem diferenças estatísticas em relação ao controle. Já para a cv PoneKa, a aplicação de N-fertilizante resultou na maior produtividade de grãos, alcançando 862 kg ha^{-1}.

CONCLUSÕES

Em condições de campo, a inoculação com *Rhizobium leguminosarum* biovar viceae (CPAC EV5 e CPAC EV6) e o prévio tratamento de sementes com a mistura de benomyl e thiram aumenta a massa seca dos nódulos e a produtividade da cv IAPAR 74. As ervilhas forrageiras (cv IAPAR 83 e cv Poneka) apresentam maior massa seca dos nódulos com a inoculação, idependente se sem ou com tratamento de sementes com fungicidas. A maior produtividade de grãos da cv IAPAR 83 foi com inoculação sem tratamento de semente, mas sem diferenças do controle, enquanto a cv Poneka tem maior produtividade de grãos com aplicação de N-fertilizante.

AGRADECIMENTO

Ao Dr. José Roberto Rodrigues Peres, pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa-CPAC, por gentilmente ceder as estirpes de rizóbio.

BIBLIOGRAFIA

ADAPAR. VITAVAX®-THIRAM 200 SC. Campinas /SP – Brasil. 2020. Available in: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/vitavaxthiram200sc0720.pdf

VALENCIA, H. A. M., AMARAL, H. A., NASSAR, J. M., AND ANDRADE, D. S. (2024). Rhizobia inoculation increases pea grain yield: an overview and challenges. *Bioscience Journal* **40:**, e40034. 10.14393/BJ-v40n0a2024-67453

VOSS, M., CALEGARI, A., AND RIBEIRO, P. G. F. (1987). Resposta da ervilha a inoculação com rizóbio e a adubação com fósforo. *In* "Informe de Pesquisa" (IAPAR, ed.), pp. 8. IAPAR, Londrina.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ACÚMULO DE N-UREIDOS E FOTOSSÍNTESE EM CULTIVARES DE DIFERENTES CICLOS INOCULADAS COM *Rhizobium tropici* CIAT 899 OU FERTILIZADAS COM N-MINERAL

Heloísa da Silva Baldinotti[1*], Mariana Passos da Conceição[1], Yanka Rocha Kondo[1], Enderson Petronio de Brito Ferreira[1], Glaciela Kaschuk[3]

[1] Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná, *heloisa.baldinotti@ufpr.br, professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná.

RESUMO

A produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) usualmente depende da aplicação de fertilizantes nitrogenados, apesar dessa leguminosa estabelecer simbiose com as bactérias diazotróficas. Este estudo analisou algumas variáveis do metabolismo do C e do N de plantas de feijoeiro comum dos cultivares BRS FC104, BRS Pontal e BRS Vereda, variando em ciclo de cultivo, sob os efeitos da inoculação de *Rhizobium tropici* CIAT 899 e adubação nitrogenada, para elucidar os fatores que limitam a fixação biológica de N (FBN). A fotossíntese e a atividade enzimática variaram em função da interação entre cultivar e tratamento com N. A cultivar de ciclo intermediário BRS Ponta l apresentou o maior acúmulo de N-ureídos, mesmo sob adubação nitrogenada. Assim, essa cultivar pode servir como modelo para futuros estudos voltados à melhoria da FBN em feijoeiro-comum.

PALAVRAS-CHAVE: microbiologia do solo; *Phaselus vulgaris* L.; simbiose.

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira tem dependido da importação de fertilizante nitrogenado para alcançar melhores colheitas (Moreira *et al*., 1980). Em 2020, 7 milhões de toneladas de fertilizante-N foram importadas pelo Brasil (Boletim Informativo, 2022), e os preços variam em função de mudanças nos cenários sócio-econômicos mundiais, por exemplo, como a guerra entre Ucrânia e Rússia (Arndt *et al*., 2023).

As leguminosas são plantas que necessitam de uma menor quantidade, ou nenhuma aplicação de fertilizantes-N devido sua relação simbiótica com bactérias diazotróficas (Zhao *et al*. 2021). Nesta associação, a planta fornece fontes de carbono (C) aos rizóbios alojados nos nódulos radiculares e estes realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN) disponibilizando N ao sistema vascular da planta (Poole, Ramachandran, e Terpolilli, 2018). O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado uma fonte nutricional de qualidade para os seres humanos, desempenha um papel proeminente no combate à desnutrição e na garantia da segurança alimentar (Didinger *et al*., 2022). Porém, é a leguminosa com as menores taxas de FBN entre as leguminosas. A elucidação dos mecanismos que regulam a simbiose deve contribuir para estabelecer estratégias que melhorem as taxas de FBN nessa cultura.

Esse trabalho avaliou algumas variáveis do metabolismo do C e do N de plantas de feijoeiro comum dos cultivares BRS FC104, BRS Pontal e BRS Vereda, que têm diferentes ciclos de crescimento, para testar a hipótese de que a inoculação com uma cepa eficiente de *Rhizobium*, independente do ciclo da cultivar, aumenta a fotossíntese e a atividade dos nódulos, superando assim as limitações da FBN.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. O clima de Curitiba é classificado como subtropical úmido (Cfb) na classificação de Köppen-Geiger, com quatro estações bem definidas. O experimento teve início em 2 de janeiro de 2023 e terminou em 13 de fevereiro de 2023. O solo foi obtido na camada de 0-20 cm, em área não cultivada, da Fazenda Experimental Canguiri, em Pinhais, Paraná, Brasil, e é classificado como Cambissolo no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com Santos *et al*. (2018), e a caracterização textural foi realizada utilizando a metodologia do densímetro de Bouyoucos. A fertilidade solo foi corrigida de acordo com Pauletti e Motta (2019), para garantir bom desenvolvimento das plantas.

O experimento foi realizado sob um delineamento inteiramente casualizado, duplo fatorial, sendo a fonte de N o primeiro fator e genótipos, o segundo, com seis repetições por tratamento. As fontes de N foram: i) Controle: plantas não inoculadas e não adubadas com N; ii) Plantas adubadas com N (ureia): aplicação de 40 kg de N ha^{-1} no estádio V1, e mais 40 kg N ha^{-1} no estádio de R5 (de Oliveira *et al*., 2018); e, iii) Plantas inoculadas com *Rhizobium tropici* CIAT 899 na semeadura (volume correspondente a 100 ml de inoculante (aproximadamente 10^9 células ml^{-1}) para 50 kg de sementes).

As taxas de fotossíntese foram medidas das 10:00 até às 13:00 horas na terceira folha completamente expandida (de cima para baixo), com o sistema de trocas gasosas aberto Portable Gas Exchange Fluorescence System GFS-3000®, com temperatura da folha variando de 30 °C a 32 °C, o fluxo de CO_2 a 400 ppm e a radiação a 1500 µmol quanta m^{-2} s^{-1}.

Após as medições, as plantas foram separadas entre a parte área e raízes e secas em estufa de ar de circulação forçada a 65°C, até atingirem massa constante e pesados. As massas foram trituradas e submetidas ao método de Kjeldahl para a quantificação de N e de ureídos (Vogels e Van der Drift, 1970)

Os dados passaram pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett a 5% de significância. Atendidos os pré-requisitos, realizou-se uma ANOVA bidirecional, seguida do teste de Tukey (5%). As análises foram feitas no R Studio® com o pacote 'ExpDes.pt'.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fotossíntese das cultivares de feijão-comum nos estágios fenológicos V4 e R6, variou de 8,09 a 21,61 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. A interação entre genótipos e fontes de nitrogênio afetou significativamente a assimilação de CO_2 ($p \leq 0,05$). Nos cultivares BRS Vereda e BRS Pontal, a fertilização nitrogenada e a inoculação com *Rhizobium* aumentaram a fotossíntese, enquanto no BRS FC104, essas práticas reduziram a taxa. No estágio R6, a variação foi menor, mas o BRS Pontal inoculado com *Rhizobium* apresentou fotossíntese significativamente reduzida (Tabela 1). Em conjunto com os dados dos carboidratos (dados não

mostrados), foi possível perceber a força de dreno (Tabatabaiepour *et al*., 2023). No caso do BRS FC104 em estádio V4 a fotossíntese foi estimulada pelo rápido crescimento da massa seca da parte aérea (Tabela 1). Em contraste, as plantas de BRS Pontal e BRS Vereda estimularam a fotossíntese tanto pelo fornecimento de N (adubação nitrogenada) quanto pela força do dreno de C.

Tabela 1. Fotossíntese (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), ureídos nos pecíolos (nmol N-ureídeo g^{-1} MS) e massa de parte aérea (g $planta^{-1}$) de três genótipos de feijoeiro-comum (ciclo superprecoce BRS FC104, ciclo intermediário BRS Pontal e ciclo longo BRS Vereda), submetidos a três tratamentos: (i) Controle (sem adubação nitrogenada e sem inoculante), (ii) Adubação nitrogenada (tratados com aproximadamente 40 kg N ha^{-1} na emergência e 40 kg N ha^{-1} no estágio fenológico R5) e (iii) Inoculação com *R. tropici* CIAT 899 na semeadura, cultivados em vasos com 7 litros de solo, sob condições de casa de vegetação.

Cultivar	BRS FC104	BRS Pontal	BRS Vereda	Média	BRS FC104	BRS Pontal	BRS Vereda	Média
Fonte N								
	Fotossíntese em V4				Fotossíntese em R6			
Controle	16,7 Aa	9,8 Bb	8,1 Bb	11,5	17,2 Aa	21,6 Aa	19,6 Aa	19,5
Ureia	13,6 Ab	18,3 Aab	21,0 Aa	17,6	14,9 Ab	20,9 Aa	18,4 Aab	18,1
Rhizobium	8,1 Bb	16,9 Aa	19,3 Aa	14,8	19,1 Aa	9 Bb	17,4 Aa	15,2
Média	12,8	15,0	16,13		17.1	17,1	18,5	
	Ureídos no pecíolo em V4				Ureídos no pecíolo em R6			
Controle	16,4 Aa	9,3 Ba	24,3 Aa	16,6	19 Ab	38 Aa	26,1 Ab	27,6
Ureia	20,9 Aa	19 Bb	12 ABab	17,3	9,5 Bb	36,7 Aa	5,6 Bb	17,3
Rhizobium	22.05 Ab	34.93 Aa	15.92 Ab	24,3	18 Ab	38,5 Aa	19,2 Ab	25,3
Média	20	21,1	17,4		15,8	37,7	17	
	Massa seca da parte aérea em V4				Massa seca da parte aérea em R6			
Controle	3,7 Aa	2,4 Bb	2,9 Bb	3	7,9 Ba	8,2 Ba	7,4 Ba	7,8
Ureia	3,7 Ab	11,5 Aa	4,2 Ab	6,4	11,8 Aa	10,6 Aab	10,3 Ab	11
Rhizobium	3,9 Aa	3 Bb	3,7 Aa	3,5	8,6 Bb	11,4 Aa	10,2 Aa	10
Média	3,7	5,6	3,6		9,4	10,1	9,3	

No Brasil, os agricultores aplicam fertilizantes nitrogenados no feijoeiro-comum para compensar possíveis falhas na FBN. Se uma cultivar de ciclo curto não suprisse suas necessidades de N via FBN, a adubação seria ainda mais essencial. No entanto, neste estudo, a aplicação de N reduziu a atividade nodular

GS-GOGAT (dados não mostrados) e os ureídos (Tabela 1) nas cultivares BRS FC104 e BRS Vereda, indicando menor FBN. As doses recomendadas de N podem não atender totalmente à demanda da cultura, mas podem prejudicar a nodulação e a FBN (este estudo; Vargas *et al*., 2000).

A concentração de N-ureidos foi maior nas plantas inoculadas (Tabela 1), demonstrando que a inoculação melhora as taxas de FBN do feijoeiro. Um resultado interessante foi que a cultivar de ciclo intermediário BRS Pontal demonstrou notável resiliência na FBN em R6, acumulando N-ureídos mesmo em condições de alta disponibilidade de N no solo. Essa é uma característica promissora que pode contribuir para o desenvolvimento de novas cultivares de feijoeiro-comum com simbiose mais eficiente.

CONCLUSÕES

Este estudo destaca respostas variadas das cultivares à inoculação com *Rhizobium* e à adubação nitrogenada, mostrando que a inoculação limita a FBN, mas não a fotossíntese. A cultivar resiliente BRS Pontal acumula N-ureídos mesmo em solos ricos em N, uma característica valiosa para o melhoramento de cultivares eficientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UFPR e ao INCT Microrganismos promotores de crescimento de plantas, pelo suporte financeiro, à Capes e ao CNPq, pelas bolsas de estudo dos autores.

BIBLIOGRAFIA

Arndt, C. *et al*. (2023). The Ukraine war and rising commodity prices: Implications for developing countries. **Global Food Security**, *36*, 100680. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100680

Boletim Informativo / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Nordeste – v. 6, n. 1 (jan./jun. 2022). - Recife: SBCS/NRNE, 2022. ISSN (broch.) 2764-5274

De Oliveira. *et al* (2018). **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. ISBN 978-85-7035-816-5

Hungria, M., Eaglesham, A. R., e Hardy, R. W. (1992). Physiological comparisons of root and stem nodules of *Aeschynomene scabra* and *Sesbania rostrata*. **Plant and Soil**, *139*, 7-13. https://doi.org/10.1007/BF00012836

Leach, K. A., e Braun, D. M. (2016). Soluble sugar and starch extraction quantification from maize (*Zea mays*) leaves. **Current Protocols in Plant Biology**, *1*(1), 139-161. https://doi.org/10.1002/cppb.20018

Moreira, G.N.C.; *et al*. 1980. **Avaliação da fertilidade dos solos do Distrito Federal**. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. IIp. (Boletim Técnico, 74).

Pauletti, V., e Motta, A. C. V. (2019) **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Editora Cubo. ISBN 978-85-69146-07-0

PLUMMER, D. T. (1971) **An introduction to practical biochemistry**. London: McGraw – Hill. 369 p.

Poole, P., Ramachandran, V., e Terpolilli, J. (2018). Rhizobia: From saprophytes to endosymbionts. **Nature Reviews Microbiology**, *16*(5), 291 -303. https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.171

Santos, H, G. *et al*. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF : Embrapa, 2018.

Tabatabaiepour, S. Z. *et al* (2023). Effect of redroot pigweed interference on antioxidant enzyme and light response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) depends on cultivars and growth stages. **Scientific Reports**, 13(1), 4289. https://doi.org/10.1038/s41598-023- 31466-2

Vargas, M. A., Mendes, I. C., & Hungria, M. (2000). Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to Rhizobium inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. **Biology and Fertility of Soils**, 32, 228-233. https://doi.org/10.1007/s003740000240

Vogels, G. D., & Van der Drift, C. (1970). Differential analyses of glyoxylate derivatives. **Analytical Biochemistry**, *33*(1), 143-157. https://doi.org/10.1016/0003-2697(70)90448-3

Zhao, Y. *et al*. (2021). Nuclear phylotranscriptomics and phylogenomics support numerous polyploidization events and hypotheses for the evolution of rhizobial nitrogen fixing symbiosis in Fabaceae. **Molecular Plant**, *14*(5), 748-773. https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.02.006

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

SHELF LIFE DE PRODUTOS BIOLÓGICOS AGRÍCOLAS POR CONTAGEM CELULAR

Fernando Kappes[1*]; Marco Antonio Bacellar Barreiros [2]; Vivian Carré Missio[3;] Luciana Grange[4]
[1] Estudante de graduação da Universidade Federal do Paraná, [2,3,4] Professores Doutores da Universidade Federal do Paraná.
*fernandokappes@ufpr.br

RESUMO

Oferecer produtos biológicos com qualidade, segurança e acompanhamento técnico para o produtor, tem sido fundamental para trazer credibilidade aos bioinsumos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade celular de produtos biológicos comerciais, após abertura de embalagens e preparo da concentração de aplicação. Os tratamentos incluíram no comparativo, um controle, sem incremento microbiano, um biofertilizante de esterco bovino e três produtos comerciais. Para avaliar a concentração, os produtos foram submetidos à técnica de diluição seriada para obtenção da Unidade Formadora de colônias (UFC). Os produtos apresentaram concentrações e viabilidade satisfatórias, com variação nos valores de UFC e competição entre espécies. De acordo com a análise estatística, o produto 2 foi o melhor avaliado, enquanto os demais ficaram abaixo do padrão comercial. Destacou a necessidade de protocolos específicos para controle de qualidade e a importância de validar a presença de contaminantes, especialmente após a abertura do produto.

PALAVRAS-CHAVE: microrganismos eficientes; bioinsumos; viabilidade celular; controle de qualidade.

INTRODUÇÃO

Os inoculantes compostos por bactérias diazotróficas, fixadoras de nitrogênio atmosférico, são produtos clássicos da agricultura brasileira, a tempos posicionados com muito sucesso no cultivo da soja tropical (Santos *et al*., 2022). Porém, no ano de 2020, o lançamento do Plano Nacional de Bioinsumos associado a visão de dependência de fertilizantes do Brasil, fortaleceu o posicionamento de produtos biológicos no campo como uma forma de produção economicamente mais autônoma, rentável e sustentável (MAPA, 2020).

Considerando os últimos cincos anos, a produção industrial, em grande escala, alavanca os portifólios de produtos à base de bactérias e fungos, posicionados tanto para promover mais saúde e crescimento vegetal, quanto para promover proteção contra fitopatógenos e estresses abióticos (Ávila, 2019). Porém, neste contexto, também surge no Brasil os chamados *on farm*, produtos biológicos produzidos através de processos fermentativos artesanais, a partir do uso de fontes naturais ricas em carbono e açúcar, como melaço de cana-de-açucar, vinhaça, farelos e outros resíduos vegetais (Vidal *et al*., 2021). Normalmente são conduzidos em tanques abertos, nas próprias fazendas, sendo aplicado na forma de pulverização e ou a lanço diretamente no solo.

No entanto, pesquisas conduzidas por Gazzoni e Hungria, 2021 vem demonstrando os riscos envolvidos na produção artesanal de biológicos principalmente em relação a presença de bactérias patogênicas humanas. Trabalhos como mostrado por Bettiol *et al*. (2022), também vêm sendo conduzidos, do ponto de vista industrial, para garantir a pureza e a concentração celular dos produtos comerciais. Deste controle de qualidade ou conhecido também por *shelf life*, depende a eficiência do "biológico", que também está diretamente associada ao preparo do produto, que vai desde a abertura da embalagem, passando pelo ajuste da diluição, pelo abastecimento do equipamento e pelo posicionamento da aplicação.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração, a viabilidade e a pureza dos microrganismos presentes nos produtos comerciais pelo método de contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) a fim de observar o *shelf life* dos produtos escolhidos para este estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento foi realizado à campo, durante a safra 2022, na área experimental da Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Palotina – PR, sob Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef1) (Bhering e Santos, 2008), com textura argilosa e o relevo é suave-ondulado. O clima da região, segundo a classificação de Koppen é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, com temperatura média de 22ºC e precipitação média de 1.500 mm anuais. (Nitsche *et al*., 2019).

A semeadura ocorreu no dia 24 de maio de 2022, dentro do período previsto pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o Estado do Paraná (Mapa, 2021), utilizando semeadora adubadora de fluxo contínuo com espaçamento de 0,17 m entre linhas, regulada para população de plantas de 330 plantas m^{-2}.

Para composição dos tratamentos foram utilizados três produtos comerciais e um biofertilizante. Produto 1: Hidrocapacitor a base de *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus circulans* e *Bacillus haynesii*, Produto 2: Fungicida biológico composto por *Bacillus pumilus*, *Bacillus velezensis* e *Bacillus subtilis*, Produto 3: Combina as bactérias *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense*, e o Biofertilizante: Composto líquido produzido pelo processo de compostagem de resíduo orgânico bovino inoculado com microrganismos decompositores.

As coletas foram realizadas em dois momentos distintos, correspondentes às duas aplicações a campo, com o objetivo de monitorar a qualidade e o desempenho dos produtos ao longo do tempo e entre os intervalos de aplicação. As amostras foram recebidas em tubos de Falcon, que foi coletado diretamente do tanque de aplicação, imediatamente identificados e armazenados sob refrigeração, até o momento da entrega.

A diluição seriada foi realizada em condição de solução salina 0,85% e 100 µl de cada diluição (até a diluição no fator -9, para atingir a melhor diluição contável) foi inoculado sobre a superfície do meio de cultivo DIGS solido com a composição de glicose, ácido málico, peptona, extrato de levedura, K2HPO4, MgSO4.7H2O, ácido glutâmico, e por se tratar de meio solido é adicionado também ágar (2g de Glicose, 2 g de Ácido Málico, 1,5 de Peptona Bacteriológica, 2g de Extrato de Levedura, 0,5 g de Potássio Bibásico 0,5g de MgSO4. 7H2O, 1,5 de Ácido Glutâmico e 13g de Ágar), todos os componentes exceto o ágar são regulados para o pH 6,8.

As repetições foram feitas em triplicada e as placas acondicionadas para crescimento em BOD a 27ºC por no máximo 72 horas. Para estimar a quantidade de bactérias, utilizou-se a contagem e o cálculo da UFC, que considera as diluições e o número de colônias contadas. Essa contagem indica o número de células bacterianas capazes de formar uma colônia visível.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A técnica da diluição seriada, apesar de clássica e simplória, permite uma avaliação abrangente, não apenas da quantificação dos microrganismos presentes, mas também da detecção de possíveis contaminantes que possam afetar a qualidade dos produtos fitossanitários. A UFC pode ser obtida a partir de meios de cultura seletivos, que permitem o crescimento de certos microrganismos e inibem outros, ou em meios de cultura generalistas, como no caso do meio Digs, que permitem o crescimento de uma ampla variedade de microrganismos.

Pelos resultados obtidos, com exceção do produto 1, todas as amostras estavam acima da concentração mínima estipulada pelo fabricante. Produtos combinados com duas ou mais espécies dificultaram a quantificação individual, exigindo contagem generalizada (Figura 1).

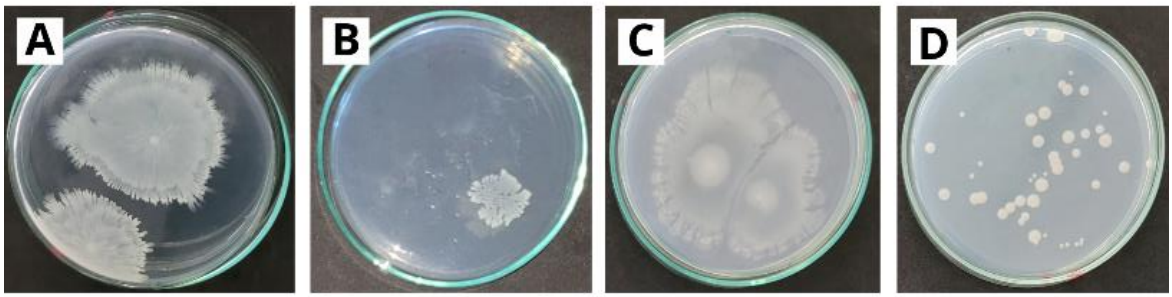


Figura 1. Resultados do crescimento bacteriano em meio DIGS após 72 horas de incubação, mostrando diferentes perfis

O produto 2 se destaca apresentando as melhores concentrações após a abertura da embalagem e preparo da diluição de aplicação. O biofertilizante foi o que apresentou os menores valores de unidade formadora de colônia possivelmente por não ser um produto comercial enriquecido com carbonos e açúcares.

Segundo EMBRAPA, 2021, os principais fatores que afetam o shelf life de produtos biológicos são o processo de produção, as condições de armazenamento e de transporte, os ingredientes e matérias-primas utilizadas na fabricação, as condições do local de exposição, como temperatura e umidade, alterações químicas e físicas, como danos no formato, diferenças de coloração ou embalagem comprometida.

Tabela 1. Valores de unidade formadora de colônia (UFC) obtido das bulas dos produtos biológicos comerciais e obtidos logo após a abertura da embalagem e preparo das concentrações de aplicação.

Composição do produto comercial (UFC.L^{-1})	**Coleta**	**UFC (x10^{11})***	
Produto biologico 1: *Pseudomonas fluorescens* CCTB 03 (1x10^{11}) + *Azospirillum brasilense* AbV6 (1x10^{11})	Coleta 1	0,1	D
	Coleta 2	0,2	CD
Produto biologico 2: *Bacillus aryabhattai* CBMAI 1120(1x10^{11}) + *Bacillus* circulans CCT 0026 (1x10^{11}) + *Bacillus haynesii* CCT 7926 (1x10^{11})	Coleta 1	1,8	A
	Coleta 2	1,2	B
Produto biologico 3: *Bacillus pumilus* CCTB 04 (1,5x10^{11}), *Bacillus velenzensis* CCTB 09 (1,2x10^{11}), *Bacillus haynesii* CCTB 05 (1,2x10^{11})	Coleta 1	0,5	BCD
	Coleta 2	0,3	BC
Biofertilizante – resíduo orgânico bovino/Pool de microrganismos	Coleta 1	0,2	D
	Coleta 2	0,1	D

*Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A manutenção da qualidade dos produtos biológicos é essencial para garantir o sucesso da agricultura sustentável e a redução do uso de insumos químicos, contribuindo assim para um ambiente agrícola mais equilibrado e produtivo (Bocatti *et al*., 2022). Apesar do produto 2 ter apresentado valores mais altos, é necessário avaliar outros protocolos para obter dados mais precisos. A avaliação da UFC deve ser acompanhada da validação de contaminantes, tanto em produtos on-farm quanto industriais, para garantir pureza e qualidade deles. A estabilidade dos produtos é essencial para garantir eficácia no campo, e a monitorização contínua é fundamental.

CONCLUSÕES

A falta de controle sobre o tempo de vida de prateleira (*shelf life*) pode ter influenciado os resultados. Os resultados destacam a importância de estabelecer protocolos específicos de controle de qualidade para assegurar a consistência e eficácia das aplicações agrícolas, que dependem desses insumos microbiológicos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao grupo de estudos FIXTEC coordenado pela Professora Dra. Luciana Grange, a todos os integrantes do grupo pelo apoio e colaboração nas atividades, ao INCT Micro Agro e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ÁVILA, Z. N. B. **Efeitos da utilização de microrganismos eficientes (em) sobre a cultura de milho (zea mays l.) Variedade brs caimbé orgânico**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

BETTIOL, W. **Situação do controle biológico no Brasil**. 2022.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos (ed.). Mapa de Solos do Estado do Paraná. Colombo, PR**: EMBRAPA Florestas**, 2008.

BOCATTI, C. R.; FERREIRA, E.; RIBEIRO, R. A.; DE OLIVEIRA CHUEIRE, L. M.; DELAMUTA, J. R. M.; KOBAYASHI, R. K. T.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Análise da qualidade microbiológica de inoculantes à base de *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum brasilense* produzidos "On-Farm" revela alta contaminação com microrganismos não alvo. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 53, n. 1, p. 267–280, 2022.

EMBRAPA. Produção de microrganismos para uso próprio na agricultura (onfarm). **Embrapa**, 2021.

EHLERS, E. A agricultura alternativa: uma visão histórica. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 24, n. Especial, p. 231-262, 1994.

GAZZONI, D. L.; HUNGRIA, M. Produção on-farm de bioinsumos. **Revista Cultivar**, p. 56, 2021.

MAPA (Brasil). Portaria SPA/MAPA nº 608. **Portaria SPA/MAPA**, [S. l.], 15 dez. 2021.

MAPA. Programa Nacional de Bioinsumos – **Nota Técnica, 2020**. Disponivel em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/material-paraimprensa/pt/release 04 programanacionalbioinsumos>. Acesso em: 01 março de 2025.

NITSCHE, P. R. *et al.*, (ed.). Atlas Climático do Estado do Paraná. Londrina, PR**: Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR**, 2019. Atlas

PEREIRA, S. **Monitoramento da qualidade de bioinsumos produzidos em sistema onfarm**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2022.

SANTOS J., Amarildo das Mercês. **Microrganismos eficientes como biofertilizante na cultura da alface**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

VIDAL, M. C., AMARAL, D. F. S., NOGUEIRA, J. D., MAZZARO, M. A. T., & LIRA, V. M. C. Bioinsumos: a construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. **Economic Analysis of Law Review**, v. 12, n. 3, p. 557-574, 2021

VINCENT, J. M. Um manual para o estudo prático das bactérias dos nódulos radiculares**. International Biological Programme Handbook**. Blackwell Scientific Publications, Ltd., Oxford, 1970.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

COLONIZAÇÃO RADICULAR DE MILHO (*ZEA MAYS*) PELAS BACTÉRIAS *AZOSPIRILLUM* SPP. E *BACILLUS* SPP: MÉTODO DE VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA INOCULAÇÃO

Guilherme Adrião Lomba[1], Yanka Rocha Kondo[2], Glaciela Kaschuk[3]
[1]Discente, UFPR, Curitiba-PR, guilhermeadriao@ufpr.br; [2]Doutoranda DSEA, UFPR, Curitiba-PR, yankakondo@ufpr.br; [3]Dra. em Agronomia WUR, Prof. DSEA, UFPR, Curitiba-PR, glaciela.kaschuk@ufpr.br.

RESUMO

O estudo avaliou a eficiência de dois inoculantes comerciais, Azototal (*Azospirillum brasilense*: cepas Ab-V5 e Ab-V6) e Biotrio (*Bacillus subtilis*: cepa CCTB04; *Bacillus amyloliquefaciens*: cepa CCTB09; *Bacillus pumilus*: cepa CCTB05), na colonização das raízes de milho (*Zea mays*). O objetivo foi verificar a capacidade desses inoculantes de promover o crescimento vegetal sob condições de solo corrigido por calagem. As plantas foram cultivadas em vasos, inoculadas conforme o tratamento, e submetidas a irrigação alternada. Após a colheita, amostras da rizosfera foram analisadas em meios Tryptic Soy Agar (TSA) para *Bacillus* spp. e Rojo Congo (RC) para *Azospirillum* spp. A contagem de colônias após incubação revelou maior unidade formadora de colônias (UFC) para *Azospirillum* spp. em relação a *Bacillus* spp. Conclui-se que ambos os inoculantes colonizaram eficientemente a rizosfera, com destaque para *Azospirillum* spp. devido à maior densidade populacional.

PALAVRAS-CHAVE: milho; rizosfera; Azospirillum brasilense; *Bacillus* spp.; inoculantes.

INTRODUÇÃO

A colonização radicular por bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) é um fator essencial para melhorar a produtividade agrícola, especialmente em sistemas sustentáveis. Esses microrganismos beneficiam as plantas por meio de mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio, produção de fitohormônios e solubilização de fósforo, promovendo maior crescimento radicular e tolerância a estresses ambientais (Vessey, 2003; Bashan & de-Bashan, 2010). Entre as BPCV, o gênero *Azospirillum* destaca-se por sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio e síntese de auxinas, proporcionando maior crescimento e desenvolvimento das raízes (Okon & Labandera-Gonzalez, 1994; Cassán *et al*., 2015). Por outro lado, as espécies do gênero *Bacillus* são reconhecidas pela solubilização de nutrientes, controle biológico de patógenos e indução de resistência sistêmica (Kloepper *et al*., 2004; Idris *et al*., 2007).

O uso de inoculantes comerciais, como Azototal (composto por *Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6) e Biotrio (contendo *Bacillus subtilis* CCTB04, *Bacillus amyloliquefaciens* CCTB09 e *Bacillus pumilus* CCTB05), oferece uma abordagem prática e eficiente para maximizar o potencial agrícola. Estudos anteriores evidenciaram incrementos no crescimento vegetal e na biomassa radicular com a utilização dessas bactérias (Hungria *et al*., 2010; Ribaudo *et al*., 2011), embora a magnitude desses efeitos varie conforme a espécie bacteriana e as condições edafoclimáticas (Vargas *et al*., 2020; Souza *et al*., 2021).

Neste contexto, a presente pesquisa busca avaliar o impacto diferencial da inoculação com Azototal e Biotrio na colonização das raízes e no desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays*). A hipótese central é que os inoculantes promovam padrões distintos de colonização radicular, refletindo em variações na morfologia e biomassa radicular. O objetivo é quantificar esses efeitos para aprimorar o uso de inoculantes na ciência do solo e otimizar a sustentabilidade agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Setor de Ciências Agrárias da UFPR, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), com experimentos em casa de vegetação e análises no Laboratório de Biologia do Solo. O solo, um Latossolo Vermelho distrófico típico, foi coletado na Fazenda Experimental Canguiri

(25°23'21"S, 49°07'43"W; 920 m), na camada de 0-20 cm, peneirado (2 mm) e homogeneizado. A calagem seguiu o Manual de Adubação e Calagem para o Paraná, com 4,146 g.kg^{-1} de calcário aplicados em vasos com solo previamente umedecido. Após homogeneização, o solo foi inoculado com Azototal (*Azospirillum* spp.) e Biotrio (*Bacillus* spp.), em soluções preparadas em câmara de fluxo laminar.

O plantio foi realizado em 27 de setembro de 2023, utilizando híbrido de milho (*Zea mays*), com seis sementes por vaso, totalizando nove vasos: três com Azototal, três com Biotrio e três controles. O experimento, com irrigação em dias alternados, durou 20 dias. As plantas foram colhidas em 17 de outubro de 2023, e o solo da rizosfera foi analisado após diluições seriadas (-1 a -5). Os meios Tryptic Soy Agar (TSA) e Rojo Congo (RC) foram usados, com três diluições (-3, -4 e -5), totalizando 108 placas incubadas a 25°C por sete dias. As contagens de UFC foram expressas em UFC.g^{-1} de solo.

O delineamento inteiramente casualizado (DIC) seguiu esquema fatorial 3x3 (inoculantes e diluições). A normalidade foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias, pelo teste de Bartlett. A ANOVA foi seguida pelo teste de Tukey, e a transformação de Box-Cox (λ = 0,4) foi aplicada aos dados do meio RC, utilizando o software RStudio (versão 4.4.1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise microbiológica revelou que a inoculação com bactérias promotoras de crescimento, notadamente nos tratamentos com Azototal e Biotrio, resultou em um incremento significativo na colonização das raízes de *Zea mays*. Mesmo após diluições seriadas, observou-se a capacidade dessas bactérias de se estabelecerem e proliferarem no solo não estéril, evidenciando a estabilidade do processo simbiótico. Esses achados ressaltam o potencial dessas inoculações em otimizar a microbiota da rizosfera, conforme também destacado por Mehnaz *et al*. (2007) e Hungria (2016).

A avaliação estatística por meio da ANOVA demonstrou diferenças significativas entre os meios de cultivo utilizados. O meio de cultivo A apresentou desempenho superior ao controle (C), enquanto o meio TSA (B) exibiu resultados intermediários, sem diferenças estatisticamente significativas em relação ao meio RC (A) e controle (C). Adicionalmente, as diluições não influenciaram de forma expressiva a eficácia das culturas, indicando que a escolha do meio de cultivo desempenha papel preponderante na recuperação e estabelecimento de bactérias na rizosfera. Esses resultados estão em conformidade com as observações de Pereira e Castro (2014), que destacaram a importância de meios adequados para maximizar o crescimento de bactérias endofíticas.

Tabela 1. Contagem de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) em meio Rojo Congo (RC), após diluição seriada 1:1000, em mudas de *Zea mays* cultivadas em casa de vegetação.

Unidade Formadora de Colônia			
Avaliação (+)		**Diluição (+)**	
A	0,723 x 10^4 a	-3	0,807 x $10^{4\ ns}$
B	0,631 x 10^5 ab	-4	0,616 x $10^{5\ ns}$
C	0,510 x 10^6 b	-5	0,441 x $10^{6\ ns}$
CV%		39,36	

Legenda: (+) = Dados transformados por BoxCox com lambda igual a 0,4; médias na coluna seguidas de letras diferentes são significativamente distintas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = médias não significativas na coluna a 5% de probabilidade de erro conforme ANOVA.

Tabela 2. Contagem de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) em meio Tryptic Soy Agar (TSA), após diluição seriada 1:1000, em mudas de *Zea mays* cultivadas em casa de vegetação.

Unidade Formadora de Colônia			
Avaliação		**Diluição**	
A	0,168 x 10^4 a	-3	0,234 x $10^{4\ ns}$
B	0,107 x 10^5 ab	-4	0,145 x $10^{5\ ns}$
C	0,168 x 10^6 b	-5	0,639 x $10^{6\ ns}$
CV%		87,2	

Legenda: Médias na coluna seguidas de letras diferentes são significativamente distintas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = médias não significativas na coluna a 5% de probabilidade de erro conforme ANOVA.

Os dados obtidos realçam a relevância do meio de cultivo como fator determinante para a promoção da atividade bacteriana na rizosfera. O meio Rojo Congo demonstrou maior eficiência, com contagens de UFC consistentemente superiores e menor sensibilidade a variações experimentais, evidenciada pelos coeficientes de variação. Por outro lado, o meio Tryptic Soy Agar apresentou maior variabilidade, sugerindo menor robustez em condições similares.

CONCLUSÕES

Os resultados confirmam a eficácia da inoculação com Azototal e Biotrio na colonização bacteriana da rizosfera de *Zea mays*, independentemente da diluição. A escolha adequada de inoculantes e meios de cultivo otimiza a colonização microbiana, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis. A avaliação da colonização radicular no estágio inicial da cultura do milho mostra que as bactérias inoculadas influenciam positivamente o crescimento da planta, potencializando o rendimento da cultura. Estes achados reforçam a importância das interações simbióticas entre microrganismos e plantas, com potencial para melhorar a segurança alimentar e a preservação ambiental.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à orientação da professora Glaciela Kaschuk, a co-supervisão de Yanka Rocha Kondo no laboratório e ao apoio da UFPR, da bolsa PIBIS da Fundação Araucária e do Projeto INCT – Microrganismos Promotores de Crescimento Vegetal (CNPq, 465133/2014-4; Fundação Araucária-STI, 043/2019).

BIBLIOGRAFIA

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. **How the plant growth-promoting bacterium Azospirillum promotes plant growth—a critical assessment.** Advances in Agronomy, v. 108, p. 77-136, 2010.

CASSÁN, F.; PERRIG, D.; SGROY, V.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; LUNA, V. **Plant growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides.** *In:* LUGTENBERG, B. (ed.). Principles of plant-microbe interactions. Springer, 2015. p. 245-256.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. **Alternative methods for soybean inoculation to overcome adverse conditions at sowing.** Brazilian Journal of Microbiology, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 442-451, 2010.

IDRIS, E. E.; IGLESIAS, D. J.; TALON, M.; BORRISS, R. **Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by Bacillus amyloliquefaciens.** FEMS Microbiology Ecology, Oxford, v. 60, n. 1, p. 40-48, 2007.

KLOEPPER, J. W.; RYU, C. M.; ZHANG, S. **Induced systemic resistance and promotion of plant growth by Bacillus spp.** Phytopathology, Saint Paul, v. 94, n. 11, p. 1259-1266, 2004.

MEHNAZ, Samina; WESELOWSKI, Brian; LAZAROVITS, George. **Azospirillum canadense sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium isolated from corn rhizosphere.** International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, v. 57, n. 3, p. 620-624, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1099/ijs.0.64804-0. Acesso em: 14 ago. 2024.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. **Agronomic applications of Azospirillum: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation.** Soil Biology and Biochemistry, London, v. 26, n. 12, p. 1591-1601, 1994.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná.** 2. ed. Viçosa: SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. 289 p. ISBN 9788569146070.

PEREIRA, S.; CASTRO, P. **Diversity and characterization of culturable bacterial endophytes from Zea mays and their potential as plant growth-promoting agents in metal-degraded soils.** Environmental Science and Pollution Research, v. 21, p. 14110-14123, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-014-3309-6. Acesso em: 12 mar. 2024.

RIBAUDO, C. M.; KRUMPHOLZ, E. M.; CASSÁN, F. D.; BOTTINI, R.; CANTORE, M. L.; CURÁ, J. A. **Azospirillum sp. promotes root hair development in tomato plants through a mechanism that involves ethylene.** Journal of Plant Growth Regulation, New York, v. 30, n. 2, p. 164-176, 2011.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS).** Brasília, DF: EMBRAPA Solos, 2018.

VARGAS, L. K.; LISBOA, B. B.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; WESP, C. L. **Uso de bioinsumos agrícolas no Brasil: uma abordagem técnico-científica.** Embrapa Clima Temperado - Artigo em periódico indexado (ALICE), Pelotas, 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

FLUXO DE METANO DE DIFERENTES FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO

Fernanda Pelentier[1], Jonatas Thiago Piva[2], Kathlen Neres da Cunha[1], Aline Beloque Lopes[1], Maria Ellem Alves Bezerra[3]

[1]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica federal do Paraná, campus Francisco Beltrão.*fernandapelentier@alunos.utfpr.edu.br; [2] Professor do departamento de ciências agrárias, Universidade Tecnológica federal do Paraná, campus Francisco Beltrão; 3 Doutoranda Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGAG, UTFPR, Campus Pato Branco.

RESUMO

O metano é um gás de efeito estufa que atua significativamente nas mudanças climáticas, cuja concentração na atmosfera tem aumentado devido à ação de fontes antropogênicas. O objetivo do trabalho foi avaliar a emissão de metano sob diferentes fontes nitrogenadas aplicadas na superfície do solo sob sistema plantio direto. O experimento foi conduzido na área experimental da UTFPR, Campus Francisco Beltrão – PR. As emissões de CH_4 foram medidas usando o método de câmara estática, os gases foram analisados por cromatografia. Nas condições analisadas, o fluxo de CH_4, apresentou pico de emissão inferior a 10 µg C m^{-2} h^{-1}, a emissão ocorreu nos primeiros dias, mesmo período que ocorreu níveis elevados de precipitação que favorecem menores taxas de oxidação do CH_4. Deste modo, a emissão foi pouco significativa, ocorrendo maior tendência de absorção pelo solo, atuando como dreno desse gás.

PALAVRAS-CHAVE: gases de efeito estufa; metanogênese; poluição do solo.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm gerado discussões sobre a temática ambiental, dada a influência dos setores produtivos e o aumento do efeito estufa global (Costa, 2018). O efeito estufa é essencial para manter a temperatura da Terra, sendo vital para a vida (Richter *et al.,* 2021). No entanto, ações humanas causam o excesso de gases, resultando no aquecimento global.

O uso de fertilizantes na agricultura, especialmente nitrogenados, é um fator significativo para o aumento das emissões de Gases de efeito estufa (GEE) (Soares, 2016). Uma alternativa para reduzir essas emissões é o manejo adequado dos fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo (IPCC, 2014).

O metano (CH_4), um dos gases mais nocivos, sendo que provém de atividades agrícolas, gestão de resíduos, atividade microbiológica anaeróbia, uso de energia e queima de biomassa (EPA, 2024). Os microrganismos presentes no solo produzem CH_4 e a quantidade que flui para a atmosfera varia conforme o teor de água e temperatura, tais fatores têm influência sobre as atividades dos microrganismos (Veçozzi, 2015).

A liberação de CH_4 no solo, depende dos processos de produção realizados pelos microrganismos metanogênicos e da oxidação pelas bactérias metanotróficas (Rosa, 2014). E a adubação nitrogenada em solos cultivados afeta a oxidação do CH_4, isso ocorre devido ao NH_4^+ que é resultante da adubação com N, inibindo a oxidação do CH_4 do solo, essa inibição ocorre devido a competição do NH_4^+ com o CH_4 pela enzima mono-oxigenase (Kravchencko *et al.,* 2002). Desse modo, quando os tratamentos de solo incluem N, eles acabam reduzindo a oxidação do CH_4, então há mais CH_4 que permanece intacto e acaba indo para a atmosfera.

Assim, a gestão inadequada dos fertilizantes nitrogenados na agricultura é um dos responsáveis pelo aumento das emissões de GEE, e sua redução pode ser alcançada através do manejo eficiente e sustentável desses fertilizantes, através da escolha de fontes mais adequadas. Portanto, o objetivo foi avaliar a emissão de metano sob diferentes fontes nitrogenadas aplicadas na superfície do solo sob sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante o período de verão, na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Francisco Beltrão – PR. Situada a uma Latitude 26º 05' 05,37" S, Longitude 53º 05' 27,64" O, e altitude média de 553 metros. O solo na área experimental é classificado como Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (77 % de argila) (Santos *et al.,* 2018). O clima é classificado como Cfa subtropical, de acordo com a classificação de Koppen, com precipitação média anual de 2048 mm e temperatura média anual do ar de 19°C.

Os tratamentos consistiram de diferentes fontes de adubação nitrogenada: (i) controle, sem adubação nitrogenada em cobertura, (ii) ureia comum, (iii) ureia com inibidor de urease (NBPT), (iv) nitrato de amônio e (v) nitrato de amônio com a dose de 70 % do total. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 repetições, cada parcela possuía dimensões de 32m² (4m x 8m). As avaliações foram realizadas na cultura do milho (AS 17 57 Pro4), semeado em 12/09/2023 com espaçamento de 0,45 m e adubação de base de 500 kg ha^{-1} do adubo 09-21-13, sendo colhido no dia 23/01/2024.

As emissões de CH_4 foram medidas usando o método de câmara estática (Bayer *et al.,* 2016). Em cada data de amostragem, o ar foi coletado das 8h às 11h da manhã. As amostras de ar foram coletadas com seringas de 12 mL, nos tempos de 0, 15, 30 e 45 min após o fechamento da câmara e transferidas para frascos de vidro de 10 mL previamente evacuados e enviadas para análise no Laboratório de Biogeoquímica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os gases foram analisados em um cromatógrafo gasoso Shimadzu (GC-2014), seguindo a metodologia descrita (Bayer *et al.,* 2016). Dados de precipitação e temperatura do ar foram monitorados a partir de dados da estação meteorológica localizada na universidade da área experimental (Figura 1), durante o período de avaliações.

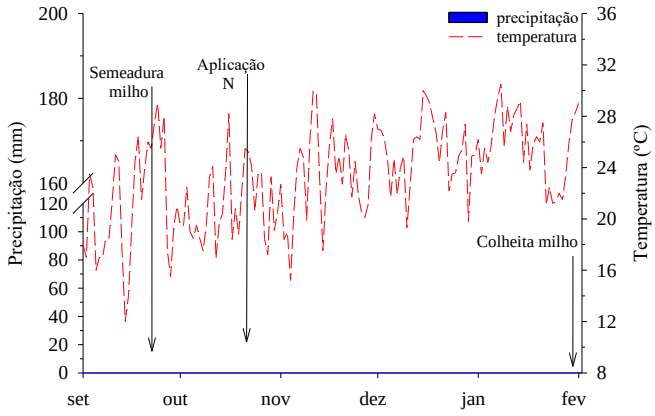


Figura 1. Precipitação e temperatura média do ar durante o período de desenvolvimento da cultura do milho. UTFPR-Francisco Beltrão-PR.

Os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA), quando observada diferença significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com nível de probabilidade de erro de 5%, através do programa estatístico SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de emissão de CH_4 foi quase nula durante todas as coletas, variando de 10 a -48 µg C m^{-2} h^{-1} (Figura 2). Os valores do presente estudo foram inferiores aos encontrados em outros trabalhos, os quais tiveram fluxos superiores, como exemplo os observados em trabalhos de Piva (2012) que variou de 66,99 a -44,73 µg C m^{-2} h^{-1} e Zanatta *et al*. (2010), contendo fluxos de 32,5 a -30,1 µg C m^{-2} h^{-1}, todos realizados na região Sul do Brasil. As emissões de CH_4 tenderam a valores negativos indicando maior absorção pelo solo,

exceto para Nitrato de Amônio (100% e 70%) e ureia + NBPT entre os dias 1 e 9, que apresentaram pequenas emissões não passando de 10 µg C m^{-2} h^{-2} (Figura 3). A elevação nas emissões coincidiu com alta precipitação (180 mm) após a aplicação de N (Figura 1), o que tende a reduzir a oxidação do CH_4 devido à restrição no transporte do gás nos poros do solo, evidenciado por fluxos mais altos durante os períodos chuvosos (Hüstch, 1998).

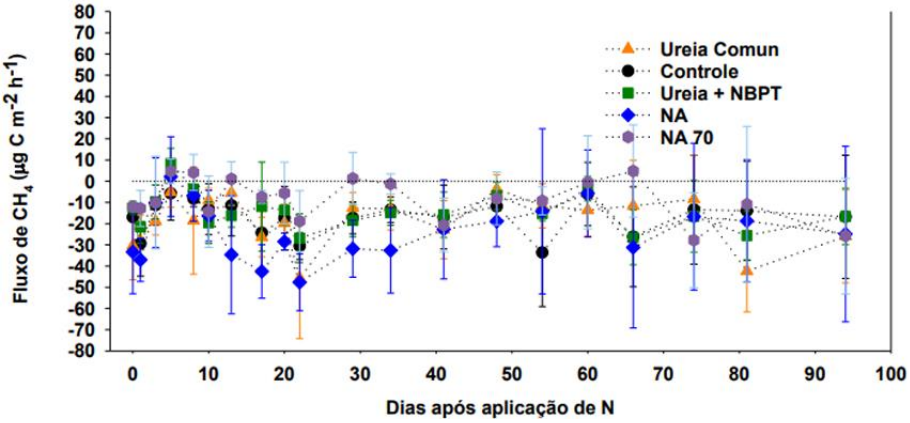


Figura 2. Fluxo de CH_4 em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura em cobertura na cultura do milho sob sistema plantio direto. Barras verticais em cada data de coleta indicam o erro padrão da média.

Nos dias entre 60 e 70, apenas o tratamento com Nitrato de Amônio 70% apresentou emissão de CH_4 (Figura 2), possivelmente devido à alta temperatura (30°C) (Figura 1), que aumenta a atividade das bactérias metanogênicas (Siqueira Neto *et al.,* 2011). No entanto, a emissão acumulada (Figura 3) de CH_4 não variou significativamente entre os tratamentos.

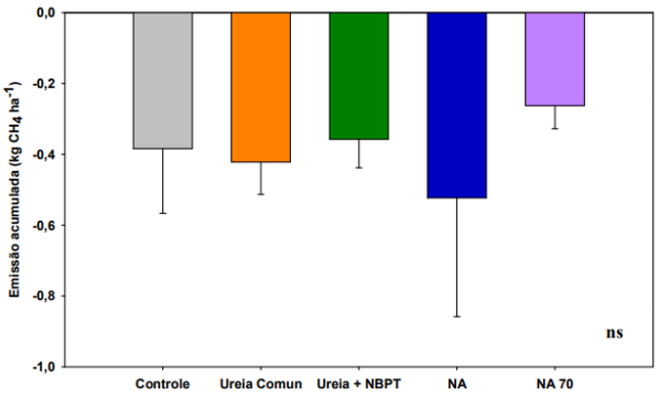


Figura 3. Emissão acumulada de CH_4 em diferentes fontes de nitrogênio aplicados em cobertura na cultura do milho sob sistema plantio direto. Barras verticais indicam o erro padrão da média. ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

Os fluxos de CH_4 foram de baixa magnitude, com taxas variando de 10 a -48 µg C m^{-2} h^{-1}, sendo que a emissão coincidiu com maiores teores de água do solo.

A umidade do solo favoreceu a maior emissão de CH_4, sendo que entre as fontes não houve diferenças significativas na emissão acumulada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, Yara Fertilizantes, INCT-ABC, grupo de pesquisa em fertilidade e manejo do solo e a UTFPR-FB pelo apoio e incentivo nesta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; DIECKOW, J. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no tillage in combination with legume cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 86-94, 2016.

COSTA, J. M. F. N.; FREITAS, F. P. de; CANAL, W. D. l; MAGALHÃES, M. A. de; CARVALHO, A. M. M. L.; CASTRO, R. V. O. Geração de créditos de carbono na queima de metano na carbonização. **Revista Ciência da Madeira**, v. 10, n. 1, p. 48-56, 2018.

EPA. **Greenhouse gas emissions.** 2024. Disponível em: <Overview of Greenhouse Gases | US EPA>. Acesso em: 24 fevereiro 2024.

HÜSTCH, B. W. Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. **Biology and fertility of soils**, v. 28, p. 27-35, 1998.

IPCC. **Mitigation of Climate Change, Technical Sumary, Working Group III.** Cambridge University Press, Cambridge, 2014, 99 p. Disponível em:< www.ipcc.ch>. Acesso em: 1 jan. 2024.

KRAVCHENKO, I.; BOECKX, P.; GALCHENKO, V.; VAN CLEEMPUT, O. Short- and medium-term effects of NH4 + on CH4 and N2O fluxes in arable soils with a different texture. **Soil and Biology Biochemistry,** v. 34, p. 669-678, 2002.

PIVA, J. T. **Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no sub-trópico brasileiro.** 2012. 92 p. Tese (Doutorado em Produção vegetal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

RICHTER, M. F.; DE LARA, D. M.; ANDREAZZA, R. de C. L. Educação Ambiental e Gases do Efeito Estufa (GEE): uma abordagem do papel do metano para Educação Básica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental,** v. 16, n. 5, p. 431-445, 2021.

ROSA, E. de F. F. da. **Emissão de óxido nitroso e metano em sistemas de manejo do solo e da água**. 2014. 114 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual de Santa Catarina. Lages, 2014.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de (2018) - **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. p. 590.

SIQUEIRA NETO, M; Piccolo, M. D. C; COSTA JUNIOR, C; Cerri, C. C; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 35, n. 1, p. 63-76, 2011.

SOARES, D. de A. **Emissões de gases de efeito estufa por fertilizantes nitrogenados em lavoura cafeeira irrigada**. 2016. 128 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

VEÇOZZI, T. A. **Eficiência agronômica de fertilizante nitrogenado de liberação controlada e seus efeitos nas emissões de metano e óxido nitroso em arroz irrigado**. 2015. 112 p. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; VIEIRA, F. C. B.; GOMES, J.; TOMAZI, M. Nitrous oxide and methane fluxes in South Brazilian Gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 34, p. 1653-1665, 2010.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

FERTILIZANTES NITROGENADOS E EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO NA CULTURA DO MILHO

Kathlen Neres da Cunha[1*], Jonatas Thiago Piva[2], Maria Ellem Alves Bezerra[3], Fernanda Pelentier[1], Aline Beloque Lopes[1]

[1]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão.*kathlenneres@alunos.utfpr.edu.br; [2]Professor do Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão; [3]Doutoranda Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGAG, UTFPR, Campus Pato Branco.

RESUMO

O acúmulo de óxido nitroso (N_2O) na atmosfera vem aumentando significativamente devido as ações antropogênicas nos últimos anos, agravando o potencial desse gás como agente do efeito estufa. O objetivo do trabalho foi avaliar a emissão de óxido nitroso de diferentes fertilizantes nitrogenados na cultura do milho, com ênfase na mitigação do impacto ambiental. O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da UTFPR, campus de Francisco Beltrão-PR. As emissões de (N_2O) foram medidas usando o método de câmara estática fechada e realizadas após a aplicação do N em cobertura no milho até a colheita. As análises do gás foram realizadas em cromatógrafo. Nas condições analisadas, o fluxo de óxido nitroso, não apresentaram emissões elevadas, ficando inferiores a 50 µg N m^{-2} $h^{-1,}$ contudo o tratamento com ureia comum e UAN apresentaram maiores emissões, chegando próximo a 100 µg N m^{-2} h^{-1}. A fonte líquida (UAN) apresentou as maiores emissões acumuladas.

PALAVRAS-CHAVE: gases do efeito estufa; nitrificação; ureia comum; nitrato de amônio.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam uma das questões mais complexas da atualidade, impulsionadas principalmente pelas atividades humanas. Gases liberados por processos industriais, urbanos e agropecuários têm a capacidade de absorver o calor emitido pela superfície terrestre retendo-o na atmosfera e contribuindo para o aumento da temperatura.

Esses gases, chamados de gases de efeito estufa, incluem o óxido nitroso, que permanece por um período longo na atmosfera. A principal fonte de N_2O de origem humana é o uso de fertilizantes na agricultura. Embora esteja presente em concentrações mínimas, na faixa de partes por bilhão (ppb), a quantidade de N_2O na atmosfera tem aumentado de forma constante nos últimos anos (Crutzen *et al.,* 2008).

Para alcançar maiores produtividades nas culturas de grãos, especialmente do milho, um dos fatores determinantes é a aplicação correta de nutrientes, tanto no momento certo quanto na dose adequada. Dentre esses nutrientes, o nitrogênio (N) se destaca (Civardi *et al.,* 2011). A cultura do milho responde de maneira bastante expressiva ao nitrogênio, resultando em aumentos significativos em diversas características que impactam diretamente a produtividade final (Conab, 2025).

Assim, a hipótese é que a aplicação de fertilizantes nitrogenados na forma amídica, sem nenhum tratamento, elevam as emissões de gases de efeito estufa, especialmente o N_2O. Sendo que a escolha de fontes com proteção ou nítrica, aliada a práticas de manejo de solo são mais eficientes na mitigação desses gases.

O objetivo do trabalho foi avaliar as emissões de óxido nitroso proveniente de diferentes fontes de nitrogênio aplicadas em superfície do solo, na fase vegetativa de desenvolvimento da cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da UTFPR–FB, situada na latitude 26º 05’ 05,37” S, longitude 53º 05’ 27,64” O, e altitude média de 553 m. O solo é classificado como Latossolo

Vermelho de textura muito argilosa (777 g kg^{-1} de argila) (Santos *et al.,* 2018). O clima é Cfa subtropical, tendo sua precipitação média anual de 2048 mm e uma temperatura média anual do ar de 19°C. Dados de precipitação e temperatura do ar foram monitorados a partir da estação meteorológica localizada na a 50 m do experimento (Figura 1).

Os tratamentos consistiram de diferentes fontes de adubação nitrogenada: (i) testemunha, sem adubação nitrogenada, (ii) ureia comum, (iii) ureia com inibidor de urease (NBPT), (iv) nitrato de amônio e (v) UAN (nitrogênio na forma líquida).

O experimento foi delineado em blocos com 4 repetições, cada parcela tinha 32 m² (4m x 8m). As emissões de N_2O foram medidas utilizando o método de câmara estática fechada, com coletas iniciadas após a aplicação de nitrogênio até a colheita. As avaliações foram realizadas na cultura do milho (AS 1757 Pro3), semeado em 19/10/2022 com espaçamento de 0,45 m e adubação de base de 500 kg ha^{-1} do adubo 06-30-10, sendo colhido no dia 21/03/2023.

As amostras de ar foram coletadas com seringas de 12 mL nos tempos 0, 15, 30 e 45 minutos após o fechamento da câmara, sendo realizadas a cada 2-3 dias nas primeiras três semanas e a cada 4-5 dias nas três semanas subsequentes e, depois, a cada 7 dias até a colheita. As coletas ocorreram entre 8h e 11h, em câmaras estáticas fechadas equipadas com sistemas de monitoramento de temperatura e ventilação interna. As amostras foram analisadas por cromatografia gasosa, conforme metodologia descrita em Bayer *et al.* (2016). Os dados foram submetidos a ANOVA, quando significativos foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando as diferentes fontes de nitrogênio, o fluxo de N_2O (Figura 1) apresentou emissões, ficando inferiores a 50 µg N m^{-2} h^{-1} na maior parte das avaliações, contudo o tratamento com ureia comum e UAN apresentaram maior emissão, chegando próximo a 100 µg N m^{-2} h^{-1}.

De acordo com Jantalia *et al.* (2008), no solo as maiores emissões de N_2O ocorrem em períodos de maiores precipitações, diferente do que foi observado no presente estudo, uma vez que nos períodos de maior precipitação não houveram fluxos muito elevados, sendo que a menor emissão de N_2O pode ter ocorrido devido ao fato que o nitrogênio pode ter sido perdido por outra forma, como a volatilização de amônia. Cavalcante *et al.* (2014) também obtiveram os menores fluxos quando o ambiente estava mais seco, sem ocorrência de precipitação expressiva.

Quanto à temperatura, outra variável que assim como a precipitação influenciam na emissão de N_2O, por aumentar as atividades dos processos bioquímicos de nitrificação e desnitrificação, Gonçalves (2024) comenta que as emissões se tornavam mais expressivas à medida que a temperatura se elevava, tal circunstância evidencia a influência da temperatura na emissão do N_2O, sendo que nesse estudo os picos de emissão ocorreram com valores de temperatura mais elevada, próxima de 30 °C (Figura 1).

A desnitrificação tem sido apontada como um dos principais fatores responsáveis pela emissão de N_2O nos solos após a aplicação de fertilizantes nitrogenados. Algumas pesquisas sugerem que a emissão de N_2O, decorrente da aplicação de nitrogênio, pode ser restrita pela disponibilidade de carbono, essencial para o processo de desnitrificação (Signor & Cerri, 2013).

Com relação a emissão acumulada, o tratamento UAN apresentou a maior emissão, enquanto o controle teve menor emissão (Figura 2). Sendo que o UAN foi diferente do nitrato de amônio e do controle, mas apresentou resultados semelhantes a ureia comum e ureia+NBPT.

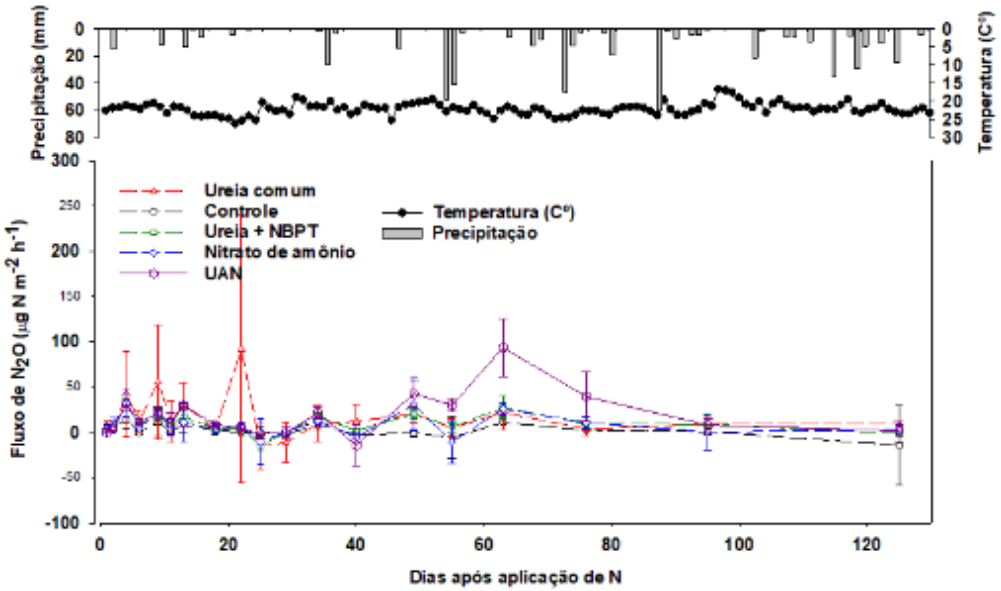


Figura 1. Fluxo de óxido nitroso do solo sob diferentes fontes de adubação nitrogenada na cultura do milho, safra 2022/2023. Francisco Beltrão-PR., Francisco Beltrão-PR. Barras verticais em cada data de coleta indicam o erro padrão da média, teste Tukey p <0,05.

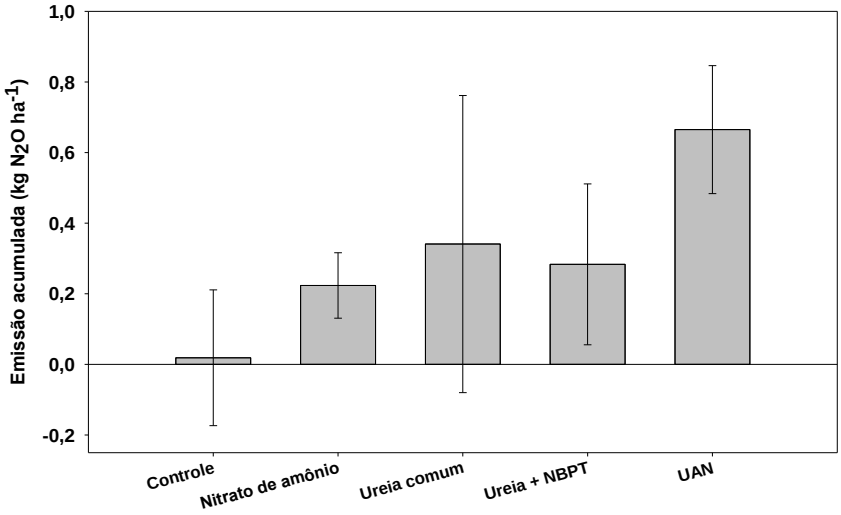


Figura 2. Emissão acumulada de óxido nitroso do solo sob diferentes fontes de adubação nitrogenada na cultura do milho, safra 2022/2023. Francisco Beltrão-PR. Barras verticais em cada coluna a indicam o erro padrão da média, teste Tukey p <0,05.

CONCLUSÕES

A ureia comum e UAN apresentaram as maiores emissões, próximas a 100 µg N m^{-2} h^{-1}, enquanto as outras fontes ficaram abaixo de 50 µg N m^{-2} h^{-1}.

A emissão acumulada de N_2O foi maior no UAN comparado ao nitrato de amônio, mas não diferiu da ureia comum e ureia + NBPT.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, Yara Fertilizantes, INCT-ABC, grupo de pesquisa em fertilidade e manejo do solo e a UTFPR-FB pelo apoio e incentivo nesta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; DIECKOW, J. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no tillage in combination with legume cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 86-94, 2016.

CIVARDI, E. A.; NETO, A. N. S.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de Liberação Lenta Aplicada Superficialmente e Ureia Comum Incorporada ao Solo No Rendimento do Milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n.1, p.52-59, 2011.

CONAB. Safras do milho. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acessado em: 08 de Março 2025.

CRUTZEN, P.; J.; MOSIER, A. R.; SMITH, K. A.; WINIWART, W. N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil**. Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 8, n. 2, p. 389-395, 2008.

CAVALCANTE, E.; OLIVEIRA, W.; de CARVALHO, A. M.; SILVA, R.; TIMÓTEO, L.; COSER, T.; ZANSÁVIO, A. D. O. Emissão de N_2O em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e integração lavoura-pecuária. *In:* **Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo**, 20.; Congreso Peruano De La Ciencia Del Suelo, 2014.

GONÇALVES, A. B. A. **Variação diurna da emissão de N_2O em diferentes usos do solo**. 2024. Jaboticabal, 2024. 35 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2024.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems,** v.82, p.161-173, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de (2018) - **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5ª ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. p. 590.

SIGNOR, D.; CERRI, C. D. P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical,** Goiânia, v. 43, n. 3, p. 322-338, 2013.

.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EMISSÃO ACUMULADA DE ÓXIDO NITROSO DE DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO EM DOIS ANOS DE CULTIVO DE MILHO

Caroline Amadori [1*], Laércio Ricardo Sartor [2], Elius Regis [3], Lucas Gabriel Fiabane [4]
[1] Pesquisadora de Pós-doutorado, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [2] Professor do Curso de Agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [3] Estudante de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [4] Estudante de Graduação em Agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, *carolamadori@gmail.com

RESUMO

O uso sustentável de fertilizantes nitrogenados é determinante para a redução das emissões de óxido nitroso (N_2O) do setor agropecuário. O objetivo foi avaliar o uso de fertilizantes nitrogenados no milho, em duas safras, nas perdas de nitrogênio (N) por N_2O. Os tratamentos foram ureia (UR), ureia com inibidor de urease (UR+NBPT), nitrato de amônio (NA), nitrato de amônio 70% da dose (NA70) e controle (C). O fluxo de N_2O foi avaliado pela metodologia da câmara estática fechada, com determinação da emissão acumulada, fator de emissão e intensidade de emissão. Na safra 2022-23 não houve diferença entre os fertilizantes. Na safra 2023-24, a UR e a UR+NBPT tiveram emissões acumuladas de 0,73 e 0,82 kg $N\text{-}N_2O$ ha^{-1}, fatores de emissão de 0,33 e 0,37%, e intensidades de emissão de 29 e 32 kg CO_2eq Mg $grãos^{-1}$, respectivamente. Conclui-se que, o NA perde menor quantidade de N via N_2O.

PALAVRAS-CHAVE: gases de efeito estufa; nitrogênio mineral; fator de emissão.

INTRODUÇÃO

O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, pela atividade antrópica, tem provocado mudanças climáticas globais e se tornou um dos principais desafios atuais da humanidade. O Brasil figura entre os principais países emissores. Considerando os principais gases, dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (N_2O), o setor agropecuário representa 33 % das emissões nacionais, e entre as emissões totais do Brasil, 87 % do N_2O tem origem na agropecuária (MCTI, 2020). O uso de fertilizantes nitrogenados na produção agrícola é uma das atividades envolvidas na emissão de N_2O, principalmente aplicações de ureia.

Os processos de produção de N_2O no solo, principalmente desnitrificação e desnitrificação por nitrificantes, estão relacionados com as condições do solo, aeração, umidade, atividade microbiana, e concentração de C e nitrogênio (N) (Gregorich *et al*., 2015). Dentro disso, é preciso buscar alternativas para a redução das emissões de N_2O, entre elas, o uso de fontes de N mineral com maior eficiência de uso pelas plantas e menor potencial de perda, visando a menor emissão de N_2O por unidade de grãos produzidos. O milho é um dos grãos mais cultivados no mundo e amplamente utilizado na alimentação humana e animal, com grande relevância econômica e elevada demanda de N (Souza *et al*., 2018).

A hipótese do estudo é de que o uso de ureia promova as maiores perdas de óxido nitroso, em relação a ureia com inibidor de urease e ao nitrato de amônio. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do uso de diferentes fertilizantes nitrogenados aplicados na cultura do milho, em duas safras, na perda de nitrogênio via emissão de óxido nitroso.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está instalado na UTFPR Câmpus Dois Vizinhos (25°41’ Sul; 53°05’ Oeste, altitude 530 m). O clima regional é caracterizado como subtropical úmido, Cfa segundo a Classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), com precipitação média anual de 2100 mm e o solo local é classificado como um Latossolo Vermelho distroférrico típico (EMBRAPA, 2018).

O experimento foi conduzido em dois anos (safras 2022-23 e 2023-24) na cultura do milho e foi composto por quatro tratamentos (ano 1) e cinco tratamentos (ano 2), dispostos em blocos ao acaso com

quatro repetições. Os tratamentos foram ureia, 45% N (UR); ureia com inibidor de urease, 45% N (UR+NBPT); nitrato de amônio, 27% N (NA); nitrato de amônio com 70% da dose (adicionado no ano 2), 27% N (NA70) e controle, sem fertilização nitrogenada (C). A dose dos tratamentos foi 180 kg ha^{-1} aplicada no estágio V6 do milho. O milho cultivar AS 1757 pro4 foi cultivado seguindo as recomendações técnicas da cultura.

As coletas de ar para determinação do fluxo de N_2O foram realizadas em duas safras da cultura do milho, entre 01/11/2022 até 18/02/2023, com 23 coletas, no ano 1; e entre 23/10/2023 até 24/01/2024, com 19 coletas, no ano 2. A metodologia usada foi a da câmara estática fechada, com amostras de ar coletadas com seringas nas tomadas de tempos de 0,15,30 e 45 minutos. A determinação da concentração de N_2O foi realizado via cromatografia gasosa (Shimadzu CG 2014 modelo Greenhouse) no laboratório de biogeoquímica da UFRGS. Os fluxos de N_2O foram calculados a partir do coeficiente angular da reta do modelo linear ajustado, que representa o incremento da concentração do gás contido na câmara no tempo de avaliação de 45 min. A concentração do gás contido na câmara foi calculada pela equação do gás ideal, a partir da temperatura em pressão do ar (assumida como 1 atm), o volume da câmara e a constante universal do gás ideal. A emissão acumulada de N_2O foi calculada através da integração dos fluxos diários ao longo do período de avaliação (área abaixo da curva). O fator de emissão de N_2O foi calculado pela relação entre a emissão acumulada de N_2O, descontada a emissão acumulada de N_2O do tratamento controle, pela dose de nitrogênio adicionado via adubação. A intensidade de emissão foi calculada através da relação entre a emissão acumulada pela produtividade de grãos de milho, expresso em CO_2eq, considerando um potencial de aquecimento global do N_2O de 265.

Os dados foram submetidos a análise de variância (teste F, $p>0,05$) e quando significativos, ao teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão acumulada de N_2O durante o cultivo do milho na safra 2022-23 (ano 1) não apresentou diferença entre os diferentes fertilizantes e o controle (Tabela 1). Entretanto, para o ano 2 (safra 2023-24), os fertilizantes com ureia emitiram maior quantidade de N_2O para a atmosfera, enquanto que o NA teve a menor emissão, similar a emissão basal do C.

Durante o ciclo de cultivo do milho, no ano 1 (24/09/2022-28/02/2023), a precipitação acumulada foi de 1.247 mm, com temperatura média do ar de 21,7 °C, resultando em uma porosidade preenchida por água (PPA) média de 46.7%. Já, durante o ano 2 (19/09/2023-30/01/2024), a precipitação acumulada foi de 1.320 mm, com temperatura média do ar de 23,3 °C, e PPA média de 74.8%. Essa diferença da PPA do solo no ciclo do milho pode ter sido responsável pela maior emissão acumulada de N_2O no ano 2, devido ao maior favorecimento ao processo de desnitrificação do solo (Bateman e Baggs, 2005).

Entre os fertilizantes, a UR apresenta o maior potencial de emissão de N_2O, devido ao seu processo de hidrólise e aumento da concentração de NH_4^+ no solo, favorecendo o processo de emissão (Zanatta *et al*., 2010). A ausência de efeito na redução da emissão acumulada de N_2O da UR+NBPT também foi verificada por Besen *et al*. (2021) e pode estar relacionado com o efeito do inibidor da urease não estar diretamente ligado ao processo de produção de N_2O.

O fator de emissão de N_2O apresentou valores muito baixos no ano 1, inferiores a 0,15 %. Já, para o ano 2, houve um aumento nos fatores de emissão, com UR e UR+NBPT apresentando os maiores valores. No entanto, os fatores de emissão encontrados nesse estudo estão abaixo do valor de referência do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) de 1,6%, como base para fertilizantes nitrogenados em cultivos agrícolas de clima subtropical (Hergoualc'h *et al*., 2019). Com isso, é possível que haja uma superestimação das emissões de N_2O calculadas com base no fator de emissão padronizado pelo IPCC. Para tanto, destaca-se o uso de dados regionalizados para os fatores de emissão de N_2O, refletindo as características de solo, clima, cultura e manejo adotado.

A intensidade de emissão de N_2O, também chamada de emissão de N_2O em escala de rendimento de grãos, tem sido frequentemente utilizada na literatura, buscando apresentar os dados com relação a parâmetros produtivos das culturas, transmitindo uma ideia de eficiência na utilização do N (Kim e Giltrap, 2017). Como as demais variáveis, para a safra 2022-23 não houve diferenças entre os fertilizantes. Entretanto, para o ano 2, a UR e a UR+NBPT apresentaram maior intensidade de emissão, com valores superiores a 29 kg CO_2eq Mg grãos^{-1}, indicando que houve maior perda de N para a produção de grãos do milho utilizando esses fertilizantes.

Tabela 1. Emissão acumulada, fator de emissão e intensidade de emissão de N_2O de solo cultivado com milho por duas safras, com uso de diferentes fertilizantes nitrogenados, nitrato de amônio (NA), nitrato de amônio com 70% da dose (NA70), ureia (UR) e ureia com inibidor de urease (UR+NBPT) e controle (C), sem fertilizante.

Tratamentos	Emissão acumulada	Fator de emissão	Intensidade de emissão
	kg N-N_2O ha^{-1}	%	kg CO_2eq Mg grãos^{-1}
		Safra 2022-23	
C	0.21 ns	- ns	8.65 ns
NA	0.47	0.15	15.08
UR	0.40	0.11	13.60
UR+NBPT	0.27	0.04	8.52
		Safra 2023-24	
C	0.14 b	-	5.72 b
NA	0.25 b	0.06 b	9.79 b
NA70	0.50 ab	0.20 ab	20.07 ab
UR	0.73 a	0.33 a	29.09 a
UR+NBPT	0.82 a	0.37 a	32.50 a

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05). ns= não significativo pelo teste F (p>0.05).

CONCLUSÕES

Com dois anos de avaliação durante o ciclo da cultura do milho, é possível concluir que o nitrato de amônio é o fertilizante com menor perda de nitrogênio por óxido nitroso, sendo similar ao controle. Os fertilizantes ureia e ureia com inibidor de urease apresentam as maiores perdas de óxido nitroso, com fatores de emissão superiores a 0.3 %. No entanto, os fatores de emissão de óxido nitroso encontrados nesse estudo são inferiores ao valor de referência do IPCC, 1,6%, para fertilizantes minerais em cultivos agrícolas em clima subtropical.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UTFPR, ao CNPq, a Yara Fertilizantes e ao INCT – ABC Agricultura de Baixa Emissão de Carbono.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrif,** v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N2O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, n. 6, p. 379-388, 2005.

BESEN, M.; RIBEIRO, R.H.; BAYER, C.; PIVA, J. T. Nitrous oxide emissions from enhanced-efficiency nitrogen fertilizers applied to annual crops in a subtropical ecosystem. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.121, p.85-98, 2021.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

GREGORICH, E.; JANZEN H.; HELGASON, B.; ELLERT, B. Nitrogenous gas emissions from soils and greenhouse gas effects. *In:* SPARKS, D.L. (ed.). **Advances in Agronomy.** v.132. p. 39-74. 2015.

HERGOUALC'H, K.; AKIYAMA, H.; BERNOUX, M.; CHIRINDA, N.; DEL PRADO, A.; KASIMIR, Å.; MACDONALD, J. D.; OGLE, S. M.; REGINA, K.; VAN DER WEERDEN, T. J. (2019). N_2O emissions from managed soils, and CO_2 emissions from lime and urea application. *In:* IPCC. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 11.1 – 11.48 p.

KIM, D.; G. D. Determining optimum nitrogen input rate and optimum yield-scaled nitrous oxide emissions: Theory, field observations, usage, and limitations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 247, p.371–378, 2017.

MCTI. Quarta **comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima – Sumário Executivo.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, v.4, n.1, p 182-194, 2018.

ZANATTA, J. A.; BAYER, C., VIEIRA, F. C. B., GOMES, J., TOMAZI, M. Nitrous oxide and methane fluxes in south Brazilian gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1653–1665. 2010.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

FONTES NITROGENADAS E ADITIVOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA PARA MITIGAR ÓXIDO NITROSO EM CULTIVO DE MILHO

Henrique Almeida Santos Ducheiko*[1], Laura Cristiane Nascimento de Freitas[2], Josileia Acordi Zanatta[3], [4]Cimélio Bayer, [5]Jeferson Dieckow

[1]Mestrando PPGCS UFPR *henriqueducheiko@hotmail.com, [2]Doutoranda PPGCS UFPR, [3]Pesquisadora Dra. Embrapa Florestas, [4]Professor Dr. PPGCS UFRGS, [5]Professor Dr. PPGSC UFPR

RESUMO

Fertilizantes nitrogenados na agricultura podem contribuir para a emissão de óxido nitroso (N_2O), demandando estratégias específicas de mitigação. Este estudo avaliou a capacidade da fonte nitrato de amônio em relação à ureia e dos aditivos de eficiência aumentada NBPT e alginato de sódio adicionados à ureia em mitigar as emissões de N_2O do solo durante duas safras de milho em Pinhais. Amostras de ar foram coletadas pelo método da câmara estática e analisadas por cromatografia gasosa para determinar os fluxos e a emissão acumulada de N_2O. Os fluxos foram maiores nos primeiros 3 dias após a aplicação do N, atingindo picos de até ~850 µg m^{-2} h^{-1} no nitrato de amônio e ureia comum. As fontes com aditivos apresentaram picos menores (~600 µg m^{-2} h^{-1}), e as emissões acumuladas foram iguais ou maiores na ureia comum (~1 kg N-N_2O ha), enquanto as demais fontes apresentaram uma redução de até 57%.

PALAVRAS-CHAVE: óxido nitroso; gases do efeito estufa; nitrogênio.

INTRODUÇÃO

O óxido nitroso (N_2O) é um dos principais gases de efeito estufa, com potencial de aquecimento global (PAG) de 265 vezes o do CO2 e longa permanência na atmosfera. Os níveis atuais de emissão contribuem para o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio, sendo a agricultura a principal fonte antrópica desse gás (IPCC, 2021).

As emissões de N_2O no setor agrícola estão diretamente ligadas ao uso de fertilizantes nitrogenados, que ao chegar ao solo passam por processos mediados por microorganismos como a nitrificação e desnitrificação (Martinez *et al.*, 2011). A forma química do N aplicado e as condições ambientais, como umidade e temperatura, influenciam a magnitude dessas emissões e fontes distintas como amídicos e nítricas possuem dinâmicas distintas de liberação e disponibilidade no solo, impactando o fluxo de N_2O (Cai *et al.*, 2016). O aumento da demanda por alimentos e a intensificação do uso de fertilizantes nitrogenados tornam essencial a busca por estratégias para mitigar essas emissões e reduzir o impacto ambiental da produção agrícola. Estratégias como o uso de aditivos de eficiência aumentada têm sido amplamente estudadas para reduzir a liberação desse gás e incrementar o rendimento das culturas (Cidreira *et al.*, 2024).

Com o intuito de compreender o impacto do uso de fontes nitrogenadas na emissão de N_2O durante o ciclo da cultura do milho (*Zea mays* L.), este estudo teve como objetivo avaliar os fluxos de N_2O a partir de diferentes fontes nitrogenadas (comuns e de eficiência aumentada) em duas safras de milho na região sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras 2022-23 (ano 1) e 2023-24 (ano 2) na Fazenda Experimental do Canguiri (UFPR), localizada no município de Pinhais – PR em área de preservação ambiental (APA do Iraí). A área de estudo está situada a uma latitude de 25°23’42’’ sul e longitude de 49°07’45’’ oeste, com altitude média de 900 metros. O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfb, Köppen) e o solo da área é classificado como Cambissolo Háplico (Santos *et al.*, 2018) de textura argilosa (500 g kg^{-1} de argila) com pH (CaCl2) 4,65, teor de matéria orgânica do solo (MOS) 5,5%.

O estudo foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas tinham dimensões de 6 x 8 metros (48 m²). Foram avaliadas quatro fontes de nitrogênio, sendo duas fontes comuns e duas com aditivos de eficiência aumentada, além de um tratamento controle sem aplicação de nitrogênio. As fontes de nitrogênio utilizadas foram o nitrato de amônio (YaraBela® – 27% N + 4% Ca + 2% Mg), a ureia comum (YaraVera® – 40% N + 5,6% S), a ureia com aditivo NBPT (Super N – 46% N + 0,3% N-(n-butil) tiofosfórico triamida) e a ureia com alginato de sódio (Nanofert® – 25% N).

A área foi previamente preparada com uma roçada mecanizada seguido de aplicação superficial de calcário dolomítico (6 Mg ha^{-1}). Durante a estação fria a área foi cultivada com aveia preta (*Avena strigosa*) para cobertura, manejada com rolo-faca para semeadura do milho no final de outubro (ano 1) e final de setembro (ano 2). A adubação basal, similar nos dois anos, foi 32 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} de K_2O, com o formulado 8-20-20. A dose de N utilizada em cobertura nos tratamentos foi 150 kg de N por hectare, aplicada em dose única no estádio fenológico V5 do milho (07/12/2022 no ano 1, e 21/11/2023 no ano 2). Os híbridos de milho AS 1730 PRO3 (ano 1) e AS 1757 PRO4 (ano 2) foram cultivados com espaçamento de 0,45 m e população de 65.000 plantas ha^{-1}. As bases para coletas de N_2O foram instaladas quando as plantas estavam entre VE e V2, acompanhadas de capina manual e replantio das falhas em ambos os anos avaliados.

A amostragem de gases do solo foi realizada ao longo do ciclo da cultura do milho aos 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 20, 23, 27, 30, 34, 40, 49, 58, 63, 71, 79, 85, 91, 98, 105 e 113 dias após aplicação do nitrogênio (DAA) no primeiro ano e 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 15, 17, 20, 23, 26, 29, 35, 42, 49, 56, 65, 70 e 89 DAA no segundo ano, pelo método das câmaras estáticas (Klein *et al*., 2013). As amostragens iniciaram às 9h, com acoplamento das câmaras sobre as bases contendo água para vedação. Amostras de ar foram coletadas nos tempos 0, 15, 30 e 45 minutos após o fechamento, com auxílio de uma seringa de polipropileno (20 mL) e realizada a transferência do ar para frascos evacuados (Exetainer®, Labco, UK). Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Florestas, onde foram determinados a concentração dos gases por cromatografia gasosa em equipamento GC – Trace 1310.

O fluxo de N- N_2O foi calculado utilizando a equação do gás ideal, com base na variação da concentração de N_2O dentro de câmaras de amostragem instaladas no solo. A taxa de emissão foi determinada pela regressão linear das medições realizadas ao longo do tempo, considerando variáveis como pressão atmosférica, temperatura interna, volume da câmara e massa molar do N_2O e a emissão acumulada foi obtida pela integração das taxas de emissão durante o período completo avaliado.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk), homogeneidade das variâncias (Oneill-Mathews) e análise de variância (ANOVA). A comparação entre os tratamentos foi pelo teste de médias de Tukey a 5% de significância. Todas as análises foram realizadas pelo software Rstudio (versão 4.3.1), com uso dos pacotes Psych, Agricolae e ExpDes.pt. Também foi utilizado o software SigmaPlot para gerar os gráficos e cálculos de integração para a emissão acumulada de N_2O.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fluxos de N_2O aumentaram logo após a aplicação do N em todas as fontes, exceto no controle. O nitrato de amônio apresentou os picos maiores no início (~400 μg m^{-2} h^{-1} no ano1 e ~850 μg m^{-2} h^{-1} no ano 2) devido à rápida disponibilidade do nitrato, que favorece a nitrificação e a desnitrificação (Pasmionka *et al*., 2021). Já a ureia comum teve picos menores no primeiro ano (~200 μg m^{-2} h^{-1}), mas atingiu valores elevados no segundo (~850 μg m^{-2} h^{-1}), refletindo a hidrólise e a liberação gradual do N por esta fonte (Tasca *et al*., 2011). Um segundo pico de emissões (~500 μg m^{-2} h^{-1}) foi observado na ureia comum aos 7 DAA (ano 2), possivelmente impulsionado por precipitações que aumentaram a porosidade preenchida por água (PPA) e estimularam a atividade microbiana (Redding *et al*., 2016).

As fontes com aditivos (Ur + NBPT e Ur + alginato de sódio) tiveram fluxos semelhantes à ureia comum, inicialmente com picos menores que o nitrato de amônio (ano 1), mas emissões ligeiramente maiores em alguns momentos (5, 7 e 9 DAA). Em 2023-24, o segundo pico de emissões também foi elevado, indicando que a base amídica dessas fontes manteve a dinâmica de liberação de N_2O, apesar dos aditivos limitarem a conversão inicial para amônio (Bensen *et al.*, 2021). O nitrato de amônio seguiu promovendo os picos mais intensos devido à rápida liberação do N, intensificando a nitrificação (Pasmionka *et al.*, 2021).

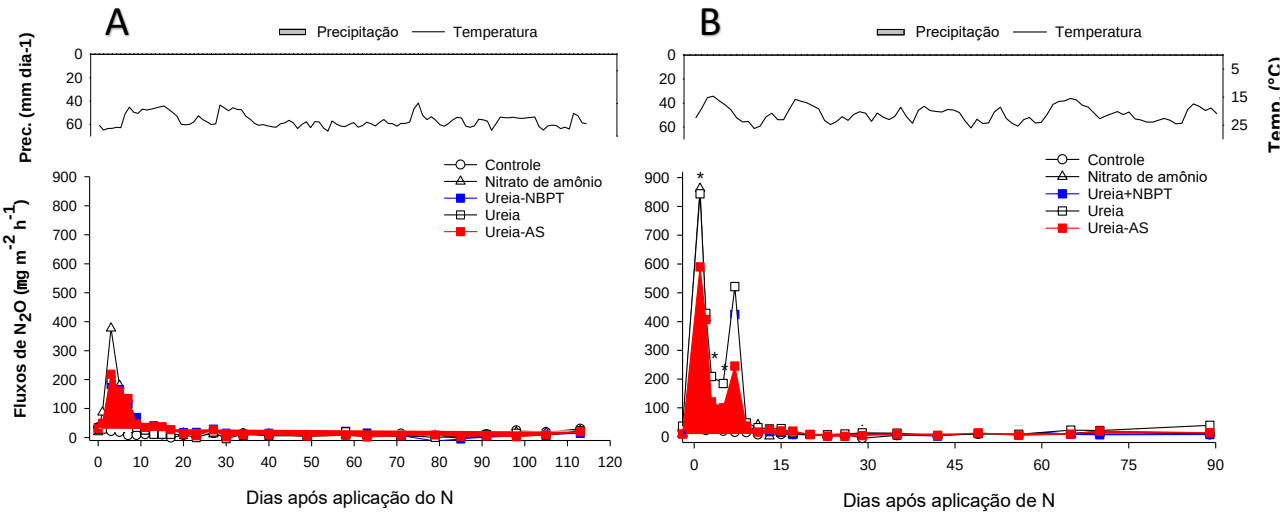


Figura 01. Fluxos de emissão de N_2O na safra 2022-23 (A) e 2023-24 (B). Pinhais – PR.
Nota: Asteriscos (*) na figura dos fluxos indicam diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p < 0.05$.

As emissões acumuladas de N_2O foram maiores no nitrato de amônio e na ureia, com aumento expressivo para a ureia em relação as demais fontes na safra 2023-24, ultrapassando 1 kg N-N_2O ha^{-1}. Esse aumento pode estar relacionado à menor volatilização de NH_3 na segunda safra, devido à maior precipitação após a aplicação, resultando em maior disponibilidade de N para nitrificação e desnitrificação (Fontoura e Bayer *et al.*, 2011). Em contraste, o nitrato de amônio apresentou redução na emissão acumulada entre as safras, reforçando sua menor suscetibilidade a perdas em comparação à ureia.

Tabela 01. Emissão acumulada de N_2O na safra 2022-23 (A) e 2023-24 (B). Pinhais – PR.

Fonte	Emissão acumulada (kg N-N_2O ha)	
	Ano 1	Ano 2
Controle	0,33 ns	0,23 b
Nitrato de amônio	0,63 ns	0,56 ab
Ureia comum	0,44 ns	0,96 a
Ureia NBPT	0,56 ns	0,67 a
Ureia + alginato de sódio	0,53 ns	0,61 ab

Nota: Asteriscos (*) indicam diferença entre os tratamentos em cada ano pelo teste Tukey ($p < 0.05$

Os aditivos de eficiência aumentada não reduziram significativamente as emissões acumuladas de N_2O, indicando que o NBPT e o alginato de sódio não impediram a transformação do N após a hidrólise da ureia. A eficiência do NBPT pode ter sido comprometida pela alta umidade do solo (PPA > 60%), que favorece a desnitrificação. No caso do alginato de sódio, a liberação controlada do N reduziu a velocidade da hidrólise,

mas o amônio formado ainda ficou disponível para os processos microbianos, resultando em emissões semelhantes às da ureia comum (Lima *et al*., 2022).

CONCLUSÕES

As emissões de N_2O não diferiram entre o nitrato de amônio e a ureia comum, mas houve diferença quando a ureia foi comparada ao controle (sem N). Mesmo com o uso do aditivo NBPT incorporado a ureia, não houve redução na emissão de N_2O, permanecendo semelhante a ureia comum. Além disso, o uso de alginato de sódio não demonstrou evidências de redução nas emissões de N_2O, sugerindo um efeito limitado sob as condições testadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa de apoio, à EMBRAPA Florestas e à Yara Fertilizantes pelo suporte institucional, e à equipe da Fazenda Canguiri pelas valiosas contribuições na realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

BESEN, M. R.; BAYER, C.; PIVA, J. T. Nitrous oxide emissions from enhanced-efficiency nitrogen fertilizers applied to annual crops in a subtropical ecosystem. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, n. 1, p. 85-98, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10705-021-10118-9. Acesso em: 10 fev. 2025.

CAI, Zejiang *et al*. Key factors, soil nitrogen processes, and nitrite accumulation affecting nitrous oxide emissions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 6, p. 1560–1571, 2016. DOI: 10.2136/sssaj2016.03.0089.

CIDREIRA, A. C. M. *et al*. Controlled-release nitrogen fertilizers: a review on bio-based and smart coating materials. **Journal of Applied Polymer Science**, 2024. Wiley.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Volatilização de amônia em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1677-1684, 2010.

IPCC. **Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/. Acesso em: 10 fev. 2025.

KLEIN, C. A. M.; HARVEY, M. J. (Eds.). **Nitrous oxide chamber methodology guidelines**. New Zealand Government, 2013. Disponível em: http://www.globalresearchalliance.org. Acesso em: [data de acesso].

LIMA, G. G. de; MATOS, M.; de SÁ, F. P.; MASHIBA, L. N.; MAGALHÃES, W. L. E.; RACHWAL, M. F. G.; ZANATTA, J. A. Supraparticles as slow-release fertiliser in seedling potential growth of Eucalyptus urograndis and greenhouse gas flux impacts. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 23047-23059, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-022-23845-5.

MARTINEZ-ESPINOSA, R. M.; COLE, J. A.; RICHARDSON, D. J.; WARTMOUGH, N. J. Enzymology and ecology of the nitrogen cycle. **Biochemical Society Transactions**, v. 39, p. 175–178, 2011.

PAŚMIONKA, Karol; IWONA, Beata; BULSKI, E.; BOLIGŁOWA. The participation of microbiota in the transformation of nitrogen compounds in the soil—a review. **Agronomy**, 2021. DOI: 10.3390/AGRONOMY11050977.

REDDING, M. R. *et al*. Soil N availability, rather than N deposition, controls indirect N_2O emissions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 95, p. 288–298, 2016. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.01.00.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INFLUÊNCIA DE FONTES DE NITROGÊNIO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO

Suelen Farias[1]; Marina Ukan Halama[1]; Henrique Almeida Santos Ducheiko[2]; Bruna Stewart[2]; Jeferson Dieckow[3]

[1]Estudante de Agronomia UFPR, *fariassuelen@ufpr.br, [2]Estudante de mestrando PPG Ciência do Solo UFPR, [3]Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola UFPR

RESUMO

O estudo avaliou a capacidade de fontes nitrogenadas e aditivos de eficiência aumentada em mitigar perdas de nitrogênio (N) por volatilização de amônia (NH3) em cultivo de milho em plantio direto, em 2022/23 (ano 1) e 2023/24 (ano 2), em Cambissolo Háplico, Pinhais-PR. A dose aplicada foi de 150 kg N ha-1. As fontes nitrogenadas e aditivos foram: nitrato de amônio, ureia, ureia + NBPT, ureia + alginato de sódio, e controle sem N. A amônia volatilizada foi capturada por coletores semiabertos durante 20 dias. As perdas concentraram-se na primeira semana após aplicação e foram 0,1-7,6% da dose aplicada no ano 1 e não passaram de 0,5% no ano 2. O nitrato de amônio reduziu consideravelmente a volatilização em relação à ureia no ano 1 (12,63 para 1,45 kg N-NH3 ha-1), mas não diferiu no ano 2. O aditivo NBPT reduziu a volatilização em 61-63% e alginato reduziu de 10-41%.

PALAVRAS-CHAVE: volatilização de amônia; milho; adubação nitrogenada.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo fundamental para a produção de alimentos. A ureia, por ser uma fonte de nitrogênio de baixo custo, é amplamente utilizada na agricultura. No entanto, a aplicação superficial de ureia pode resultar em perdas significativas de nitrogênio para a atmosfera na forma de amônia (NH_3) por meio do processo de volatilização (Sangoi *et al*., 2003). Essa perda de nitrogênio reduz a eficiência da adubação nitrogenada e causa impactos ambientais (Lara Cabezas *et al*., 1997).

O milho, uma cultura de grande importância econômica, é frequentemente cultivado em sistemas de plantio direto, onde a aplicação de fertilizantes nitrogenados na superfície do solo é comum. Nesse contexto, as perdas por volatilização de amônia podem ser ainda maiores, uma vez que a ausência de revolvimento do solo favorece a ocorrência desse processo. Diversos estudos, como o de Cantarella *et al*. (2001) têm demonstrado a magnitude das perdas de nitrogênio por volatilização em sistemas agrícolas, destacando a necessidade de desenvolver estratégias para minimizar essas perdas e aumentar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados.

Este estudo teve como objetivo identificar alternativas para reduzir perdas de nitrogênio e otimizar seu uso na cultura do milho, comparando o efeito de diferentes fontes de nitrogênio (ureia, nitrato de amônio, ureia com inibidor de urease NBPT, e ureia com alginato de sódio) na volatilização de amônia, durante duas safras consecutivas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda experimental Canguiri pertencente a UFPR, com coordenadas 25°23’42” S e 49°07’45” O, em Pinhais-PR a aproximadamente 900 metros de altitude. Na região o clima é classificado como Subtropical úmido mesotérmico (Cfb, Köppen), não ocorrendo estação seca na região de estudo, verões frescos e invernos com temperaturas mais baixas, além de geadas irregulares

(Alvares *et al*., 2014). O ano 1 (2022/2023) foi marcado por fortes chuvas durante todo o período de cultivo e temperatura entre 8,7°C à 23,5°C durante o ciclo da cultura. No ano 2 (2023/2024) a precipitação média anual foi abaixo de 2000mm, distribuídas ao longo do ano e temperaturas médias maiores no verão, mas inferiores a 21°C, e temperaturas amenas no inverno. O solo é classificado como um Cambisolo Háplico (Santos *et al*., 2018) com textura argilosa (500 g kg^{-1}).

O híbrido utilizado foi AS1757 PRO4, sendo semeado no dia 24/10/2022 (ano 1) e dia 21/09/2023 (ano 2), em um espaçamento entrelinhas de 0,45 cm e população de 65.000 plantas ha^{-1} sobre resíduo de aveia preta, em plantio direto. Por ser uma Área de Preservação Ambiental (APA), todo o manejo cultural foi realizado sem o uso de agroquímicos seja para controle de daninhas ou de patógenos. A adubação de cobertura foi realizada manualmente a lanço no dia 07/12/2022 (ano 1) e dia 21/11/2023 (ano 2). O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e cinco tratamentos, sendo eles: (i) controle sem aplicação de N, (ii) ureia comum (40% de N), (iii) ureia + NBPT (inibidor da urease – N-(n-butil) tiofosfórico triamida, 40% de N), (IV) ureia + celulose (Nanofert – Embrapa Florestas, com 25% de N) e (v) nitrato de amônio (YaraBela®, com 27% de N), totalizando 20 parcelas de 8x6 m ($48m^2$).Para avaliação da volatilização de amônia (NH_3), foram utilizados coletores do tipo semiaberto (Cantarella *et al*. 2003). Foram instaladas 10 bases de PVC de 20 cm de diâmetro e uma câmara em cada parcela na entrelinha do milho e movido diariamente nos primeiros 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20 dias após a aplicação do fertilizante. Para quantificar a amônia volatilizada, em cada câmara foram colocados dois discos de espuma com 3 mm de espessura, um mais próximo a base (15 cm) para captura de NH_3 volatilizada do solo, enquanto a outra foi colocada na parte superior a fim de impedir a contaminação da esponja inferior com amônia proveniente da atmosfera. Com isso, garantiu-se que as medidas refletissem as condições ambientais de cada período. As amostras foram coletadas em esponjas embebidas em 70 ml solução de ácido fosfórico e glicerina. Após a coleta, as esponjas utilizadas foram imersas em 410 mL de solução de KCl 1 mol L^{-1} por 30 minutos. Após esse período, a solução foi transferida para uma proveta de 500 mL e completado o volume com a mesma solução de KCl. Alíquotas de 50 mL foram coletadas, armazenadas e congeladas para posterior análise. Em uma alíquota de 20 mL do extrato descongelado foi adicionado 0,2 g de óxido de magnésio calcinado (MgO) e por destilação em Kjeldahl a amônia volatilizada é carregada por arreste a vapor e recolhida em solução indicadora de ácido bórico. Ao final essa solução formada foi titulada com solução padronizada de ácido sulfúrico (0,0025 mol L-1) (Cantarella & Trivelin, 2001) e o volume gasto na titulação foi anotado para o cálculo. A taxa de volatilização foi expressa em g $N\text{-}NH_3$ ha^{-1} dia^{-1} e a perda acumulada em kg $N\text{-}NH_3$ ha^{-1}.

A análise estatística foi feita através do software R (versão 4.3) e, por meio da análise de variância (ANOVA), comprovou-se seus pressupostos de normalidade (teste Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade das variâncias (teste de O'Neal-Matthews), seguido do teste F. Por fim, teste de médias de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambas as safras, a volatilização diária de todos os tratamentos foi mais intensa na primeira semana após a aplicação de nitrogênio (N), diminuindo posteriormente para valores basais (Figura 1). O nitrato de amônio e o tratamento sem nitrogênio apresentaram taxas diárias semelhantes, principalmente na primeira safra, porém inferiores aos tratamentos com ureia comum e ureia + AS (Figura 1A). Essa diferença pode ser atribuída à forma do N presente na fonte nitrato de amônio, cuja conversão em amônia é menor, devido à menor alcalinização do pH pela hidrólise da ureia, conforme sugerido por Cantarella (2007).

Na segunda safra, os maiores picos de volatilização para todos os tratamentos ocorreram nos dois primeiros dias após a aplicação dos fertilizantes (Figura 1B), diferentemente do primeiro ano, em que os picos diários se distribuíram ao longo de uma semana (Figura 1A). O tratamento ureia + NBPT se destacou, atrasando as volatilizações em relação aos demais tratamentos como o encontrado por Tasca *et al*. (2011). Sugere-se que a atividade da urease, influenciada pela umidade e pelas precipitações de 63mm e 47,4mm (no segundo e terceiro dia após a aplicação), tenha sido determinante para incorporar a ureia, conforme mencionado por Keller e Mengel (1986).

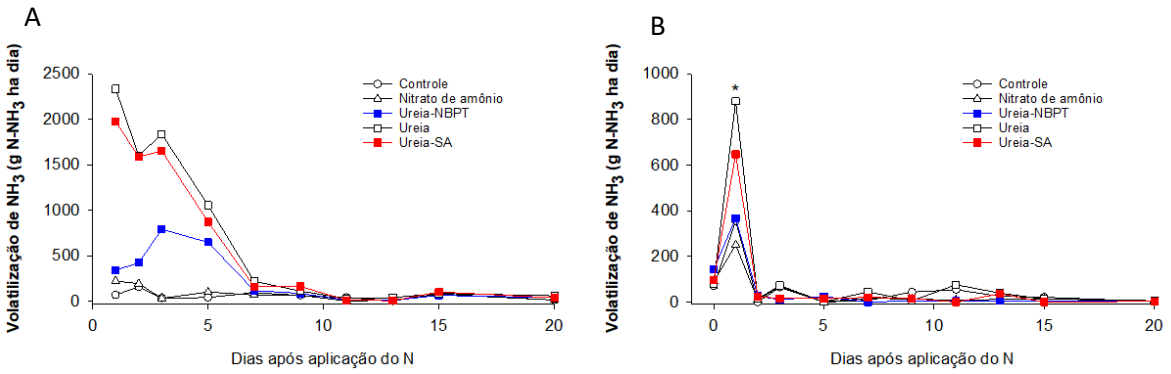


Figura 1. Taxa de volatização diária de amônia (N-NH_3) após a aplicação de ureia, ureia + NBPT, ureia + alginato de sódio, nitrato de amônio, ou controle, na cultura do milho nas safras (a) 2022/2023 e (b) 2023/2024. Pinhais PR.

Nota: Asteriscos (*) na figura dos fluxos indicam diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p < 0.05$.

As perdas totais de amônia por volatilização, expressas como percentual da dose de nitrogênio aplicada, variaram significativamente entre os anos, representando de 0,1% a 7,6% no ano 1 e não excedendo 0,5% no ano 2 (Tabela 1). No ano 1, o tratamento com nitrato de amônio demonstrou uma notável capacidade de mitigar a volatilização de amônia em comparação com a ureia, resultando em uma redução de 12,63 kg N-NH^3 ha^{-1} para 1,45 kg N-NH^3 ha^{-1}. Entretanto, no ano 2, essa diferença não se manteve. A adição do inibidor de urease NBPT à ureia comprovou sua eficácia na redução da volatilização de amônia, com uma diminuição consistente de 61% a 63% em ambos os anos (Tabela 1). Em contrapartida, o aditivo alginato de sódio, quando combinado com a ureia, apresentou uma variação na redução da volatilização de amônia, oscilando entre 10% e 41% nos dois anos de avaliação.

Tabela 01. Emissão acumulada de amônia após a aplicação de fontes nitrogenadas e aditivos de eficiência aumentada na cultura do milho nas safras 2022/23 (Ano 1) e 2023/24 (Ano 2). Pinhais -PR.

Fonte/aditivo	Emissão acumulada (kg N-NH_3 ha^{-1})	
	Ano 1	Ano 2
Controle	1,21 d	0,786 ab
Nitrato de amônio	1,45 d	0,593 ab
Ureia	12,63 a	1,490 a
Ureia + NBPT	4,89 c	0,548 b
Ureia + alginato de sódio	11,32 b	0,870 ab

Notas: valores seguidos da mesma letra não apresentam diferença significativa segundo o Teste de Tukey ($p < 0,05$).

CONCLUSÃO

O uso de nitrato de amônio em relação a ureia, ou de aditivos de eficiência aumentada na ureia são estratégias promissoras para reduzir as perdas de N por volatilização de amônia e com isso aumentar a eficiência do uso do nutriente.

AGRADECIMENTOS

CNPq, pela bolsa de IC. EMBRAPA Florestas, UFRGS e Yara Fertilizantes pelo suporte financeiro e analítico. Equipe da Fazenda Canguiri, pelas valiosas contribuições na realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, T.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's **climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

CANTARELLA, H. **Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados**. Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS Nº 120 – DEZEMBRO/2007. Disponível em: http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/EF796356699BEDCA83257AA1005E75E1/$FILE/Parte12-13-120.pdf. Acesso em: 19/02/2025.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. **Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor.** Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais, p. 270–276, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285185430_Determinacao_de_nitrogenio_inorganico_em_solo_pelo_metodo_da_destilacao_a_vapor. Acesso em: 19/02/2025.

CANTARELLA, H.; VITTI, G.C.; TREVILIN, P.C.O. **Volatilização de amônia em sistemas de produção agrícola.** Bragantia, v. 60, n. 3, p. 297-305, 2001.

CANTARELLA H, Mattos Júnior D, Quaggio JA & Rigolin AT (2003**) Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67:215-23.

KELLER, G. D; MENGEL, D. B. Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente em milho semeado diretamente. **Revista da Sociedade de Ciências do Solo da América,** v. 50, p. 1060-1063, 1986.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH3 na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema1 de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 489–496, 1997.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. & RAMPAZZO, C. **Volatilização de N-NH 3 em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório**. Ci. Rural, 33:87-692, 2003.

SANTOS, H. G. *et al*. **Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília**, DF: Embrapa, 2018.

TASCA, A.F. *et al*. **Volatilização de amônia dos solos após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease.** 2011. Disertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERDA DE AMÔNIA VOLATILIZADA DE DIFERENTES FERTILIZANTES NITROGENADOS NA CULTURA DO TRIGO

Elius Regis[1*], Laércio Ricardo Sartor[2], Caroline Amadori[3], Thais Regina Cavazzini[4], Cimélio Bayer[5]
[1] Estudante de doutorado do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [2] Professor do programa de pós-graduação em Biotecnologia/graduação em agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [3] Pesquisadora de pós-doutorado, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [4] Engenheira agrônoma, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [5] Professor de manejo de solos, UFRGS Porto Alegre. *eliusregis@alunos.utfpr.edu.br

RESUMO

O uso de fertilizantes minerais nitrogenados mais eficientes é uma necessidade na produção agrícola sustentável. O objetivo deste estudo foi avaliar a perda de amônia (NH_3) por volatilização a partir de diferentes fertilizantes no trigo. Os tratamentos avaliados foram ureia (UR), ureia com inibidor de urease (UR+NBPT), nitrato de amônio (NA), nitrato de amônio 70% da dose (NA70) e controle, sem N, (C). A volatilização da NH_3 foi avaliada pelo método da câmera semiaberta, por 21 dias em duas safras (2023 e 2024) na cultura do trigo. A UR apresentou as maiores perdas acumuladas: 8,7 kg N ha^{-1} (2023) e 9,9 kg N ha^{-1} (2024), não diferindo da UR+NBPT. O NA e o NA70 apresentaram perdas de N similares ao C. O fertilizante NA é eficiente na redução das perdas de NH_3 por volatilização.

PALAVRAS-CHAVE: Adubação mineral; volatilização de amônia; nitrato de amônio; ureia.

INTRODUÇÃO

A intensificação da produção agrícola no Brasil levou a um aumento no uso de fertilizantes nitrogenados, uma prática que merece atenção devido ao alto potencial de perda de nitrogênio (N) por volatilização, lixiviação e também pela liberação de óxido nitroso a atmosfera. Assim, tanto a fonte quanto a dose de N utilizadas nos sistemas agrícolas influenciam as perdas de amônia (NH_3) por volatilização no ambiente.

A ureia é considerada o fertilizante nitrogenado sólido mais usado na agricultura, devido a maior concentração de N em sua composição (46%) e pelo seu menor custo, além dos produtos de sua hidrólise no solo serem facilmente assimilados pelas plantas (Cantarella *et al.*, 2008), no entanto, pode gerar perdas de N quando aplicada à superfície do solo. Uma alternativa tem sido o uso de ureia revestida com compostos inibidores da urease, como o N-(n-butil) tiofosfórico triamida (NBPT), retardando a velocidade e o pico de hidrólise no solo, podendo reduzir as perdas de N (Cantarella e Marcelino, 2007). Já, o nitrato de amônio, com 27% de N na sua composição, apresenta N nas formas amoniacal e nítrica, o que reduz as perdas de N (Franco e Neto, 2007).

A volatilização de NH_3 é um dos processos de saída de N do solo que mais pode causar perdas. A quantidade de N perdida nos sistemas agrícolas na forma de NH_3 varia não apenas de acordo com as condições do solo, as práticas de cultivo, o tipo de fertilizante, mas também de acordo com o clima (Silva *et al.*, 2017), que influencia diretamente a eficiência de uso de nitrogênio pelas plantas e a atividade microbiana no solo (Chagas *et al.,* 2017). Por isso, é importante estudar as diferentes fontes de nitrogênio na perda de NH_3, enquanto se minimizam os impactos ambientais associados à sua utilização.

O estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a perda de amônia por volatilização a partir de diferentes fontes de fertilização nitrogenada na cultura de trigo, em duas safras, buscando qual fonte se tem menor perda acumulada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda experimental da na UTFPR Câmpus Dois Vizinhos (25°41' Sul; 53°05' Oeste, altitude 530 m). A região é caracterizada por clima subtropical úmido, tipo Cfa, segundo a classificação climática de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). O solo do experimento é classificado como Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa (EMBRAPA, 2018).

O experimento era composto por cinco tratamentos e quatro repetições, dispostos em delineamento de blocos ao acaso, com parcelas de 35 m^2. Os tratamentos avaliados foram ureia (45% N) - UR, ureia com inibidor de urease (45% N) – UR+NBPT, nitrato de amônio (27% N) - NA, nitrato de amônio (27% N) com 70% da dose - NA70 e controle sem o uso de fertilizante nitrogenado (0% N) - C. A dose de N aplicada foi 75 kg ha^{-1}, durante a fase de perfilhamento do trigo.

As avaliações ocorreram em dois anos de cultivo do trigo, 2023 e 2024. Para avaliar a perda de amônia, foram utilizadas 10 bases de PVC (0,195 m de diâmetro) inseridas na entrelinha do trigo e câmaras semiabertas de PVC móveis, contendo duas esponjas (uma esponja analítica e outra esponja para evitar contaminação do ar externo) embebidas com solução de ácido fosfórico e glicerina (Nönmik, 1973; Cantarella *et al.*, 2008). A aplicação dos tratamentos foi realizada manualmente no interior das bases. As esponjas foram coletadas seguindo um cronograma de 21 dias, com espaçamento crescente entre as coletas. Em cada dia de coleta, a esponja de análise, com a amônia volatilizada, era retirada e encaminhada ao laboratório, sendo substituída por uma nova esponja. Após a coleta, foi realizado a extração da solução da esponja com solução de KCl 1 M. Uma alíquota de 20 mL foi analisada para determinação da amônia por destilação segundo o método semi micro-Kjedahl (Tedesco *et al*., 1995).

A perda acumulada de amônia volatilizada foi calculada através do somatório da taxa de volatilização diária em cada coleta avaliada. A perda acumulada de amônia em relação a dose de N aplicada também foi calculada, descontando a perda acumulada do tratamento controle e considerando a dose de N (75 kg ha^{-1})

Os dados foram submetidos à análise de variância, através do programa estatístico Sisvar versão 5.6, e quando significativos ao nível de 5%, realizado o teste de Tukey (p>0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo de duas safras de avaliação, a perda acumulada de NH_3 apresentou diferenças significativas entre os tratamentos com UR e NA (Figura 1A e 1B). No primeiro ano, as perdas acumuladas variaram entre 0,26 a 8,70 kg N ha^{-1} e no segundo ano foram de 0,36 a 9,77 kg N ha^{-1}. A UR apresentou as maiores perdas acumuladas, similares a UR+NBPT. Os tratamentos com o NA, NA70 e C apresentaram as menores perdas acumuladas, não diferindo entre si, durante os dois anos de avaliação.

Depois 21 dias da adubação, a perda total acumulada de N na forma de NH_3 para UR foi 8,70 kg N ha^{-1} no ano 2023, o que corresponde a uma perda de 9,2% do N aplicado (dose de 75 kg ha^{-1}). No segundo ano, a perda no tratamento UR, foi de 9,86 kg N ha^{-1} equivalente à 11,8% do N aplicado. Resultado semelhante foi observado por Silva *et al.* (2017), onde a maior perda acumulada depois 20 dias de avaliação foi 8 kg N ha^{-1} corresponde a 4,4% de perda do N aplicado.

A UR+NBPT apresentou perdas correspondentes a 6,8% e 11,0% do N aplicado, para os 2023 e 2024, respectivamente. Como não diferiu da UR, não houve influencia do inibidor de urease (NBPT) na redução da velocidade e pico da hidrólise da ureia no solo. Em estudo de Cancellier *et al*. (2013) também não foi verificado esse efeito do inibidor, com perdas de 7% do N aplicado para UR+NBPT.

Os tratamentos NA e NA70 tiveram perdas acumuladas baixas e também perdas acumuladas inferiores a 3% de N aplicado. Um trabalho realizado no sul do Brasil, na cultura de trigo e milho durante duas safras, observou perdas acumuladas a 1% de N aplicado (Viero *et al*., 2014). A composição do NA, reduz

as perdas por volatilização, devido a presença do nitrato, que é diretamente absorvido pelas plantas, reduzindo as etapas de transformação do N (Franco e Neto, 2007).

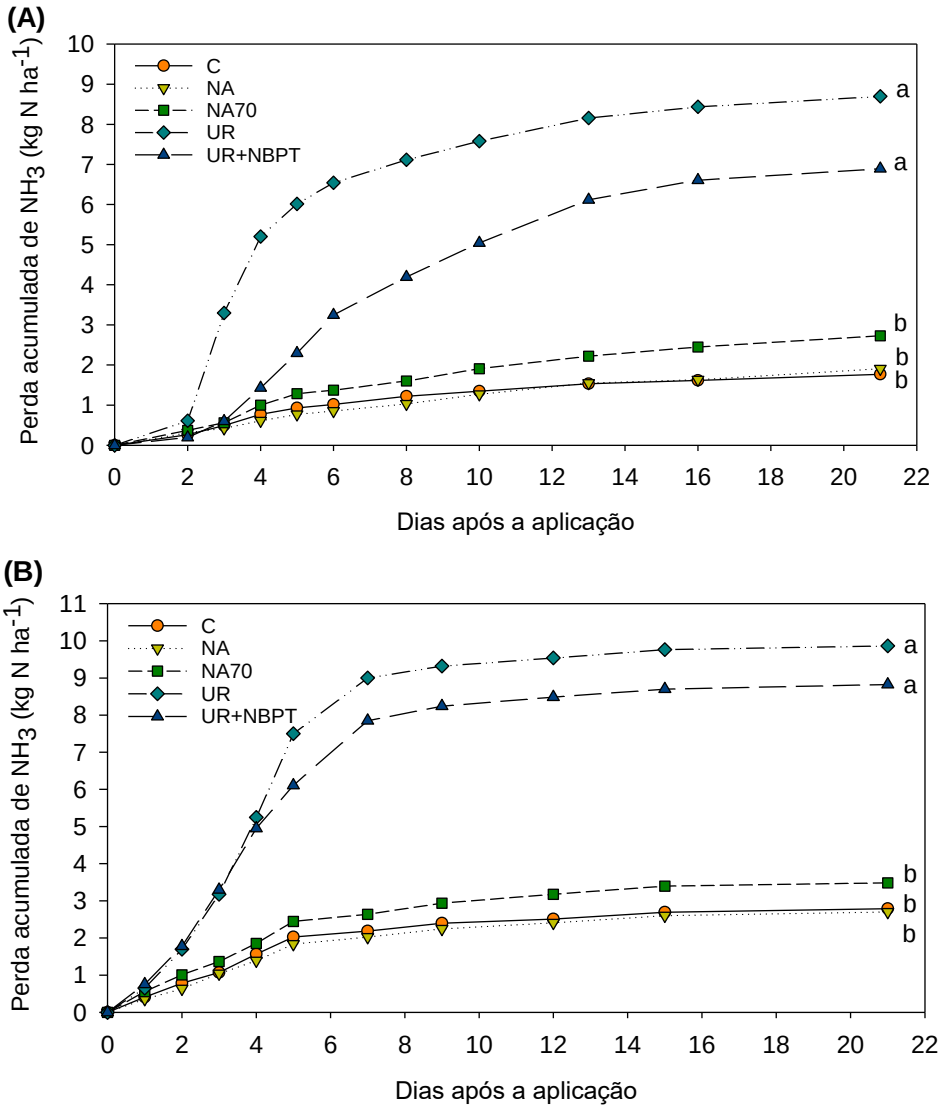


Figura 1. Perda acumulada de amônia após a aplicação de ureia (UR), ureia + inibidor de urease (UR+NBPT), nitrato de amônio (NA) e nitrato de amônio com dose 70% (NA70) e o controle (C), em cultivo de trigo nos anos de 2023 (A) e 2024 (B) durante 21 dias de avaliação. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey (p>0,05).

CONCLUSÕES

A UR apresenta a maior perda acumulada de amônia volatilizada. A UR+NBPT não é eficiente na redução das perdas de amônia por volatilização, durante duas safras de trigo.

A aplicação de nitrogênio na forma nítrica (nitrato de amônio) reduz consideravelmente as perdas acumuladas de amônia em comparação com os fertilizantes a base de ureia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UTFPR, a PROPPG, ao PPGSIS, ao PPGBIOTEC, a CAPES, ao CNPq, a YARA Fertilizantes e ao INCT Agricultura de Baixa Emissão de Carbono.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrif**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

CANCELLIER, E. L. Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída. Dissertação (Ciência do Solo), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. Simpósio sobre informações recentes para otimização da produção agrícola, v. 1, 2007.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 397-401, 2008.

CHAGAS, P. H. M.; GOUVEIA, G. C. C.; COSTA, G. G. S.; BARBOSA, W. F. S.; ALVES, A.C. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 76-80, 2017.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

FRANCO, J. A. M.; SARAIVA NETO, A. **Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimentos de matéria prima. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI, p. 73-107, 2007.

NÖMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, v. 39, p. 309-318, 1973.

SILVA, D. F.; PEGORARO, R. F.; MAIA, V. M.; KONDO, M. K.; SOUZA, G. L. O. D.; MOTA, M. F. C. Ammonia volatilization of soil after doses of urea with urease and nitrification inhibitors in pineapple culture. **Revista Ceres,** v. 64, n.3, p. 327-335, 2017.

TEDESCO, M. J.; GLANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Analise de solo, planta e outros materais. 2. ed. Porto Alegre, 1995.

VIERO, F.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; MORAES, R. P, Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados nas culturas do trigo e do milho em plantio direto, no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, 2014.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CALAGEM E FERTILIZANTES NITROGENADOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA: UM ESTUDO DAS PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM CONDIÇÕES SUBTROPICAIS SOB PLANTIO DIRETO

Lúcia Tiemi Naves Yamashita[1*], Evandro Antonio Minato[2], Bruno Maia Abdo Rahmen Cassim[3], Marcela Vágula Gomes Baffa Clavero[4], Marcelo Augusto Batista[5]

[1,4]Estudante de graduação, Universidade Estadual de Maringá; [2]Pesquisador e consultor, Origens Parcerias Agrícolas; [3]Estudante de doutorado, Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo; [5]Professor e pesquisador, Universidade Estadual de Maringá. [*]ra120023@uem.br.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi quantificar, em condições de campo, perdas de amônia ($N\text{-}NH_3$) de fertilizantes nitrogenados após aplicação superficial de doses de calcário dolomítico em plantio direto. Foram determinadas as perdas por volatilização da ureia convencional (Ur), ureia tratada com N-(n-butil) tiofosfórico triamida (Ur-NBPT), ureia revestida com cobre e boro (Ur-Cu+B) e sulfato de amônio (SA), todos na dose de 100 kg ha^{-1} de N. Os fertilizantes foram aplicados em cobertura após 24 e 36 meses da calagem. Para cada tonelada de calcário aplicada a volatilização de $N\text{-}NH_3$ aumentou em 1,7 a 3,7 % para Ur, 1,6 a 5,1% (até a dose de 8,1 Mg ha^{-1} aos 36 meses da calagem) para Ur-Cu+B, 1,5 a 1,8 % para Ur-NBPT e 0,5 a 0,9% para SA. Após a calagem superficial em plantio direto foi constatado que SA e Ur-NBPT perdem menos N por volatilização do que Ur e Ur-Cu+B.

PALAVRAS-CHAVE: fertilizantes nitrogenados estabilizados; calcário; acidez do solo.

INTRODUÇÃO

O plantio direto (PD) cobre aproximadamente 180 milhões de hectares globalmente (Kassam *et al*., 2019) e é uma prática central na agricultura conservacionista. Os fundamentos do PD são o não revolvimento do solo, rotação de culturas e presença de palha na superfície do solo. Com isso, os corretivos de acidez do solo são aplicados em superfície sem incorporação (Caires *et al*., 2008). Quando calcário e fertilizantes nitrogenados são aplicados em superfície, o aumento de pH do solo provocado pela dissolução do calcário pode potencializar as perdas por volatilização de amônia ($N\text{-}NH_3$) (Minato *et al*., 2023). Consequentemente, isso pode refletir em menor eficiência da adubação nitrogenada, maiores danos ambientais e menor produtividade das culturas.

Perdas de N pela emissão de $N\text{-}NH_3$ podem ser efetivamente mitigadas com o melhor entendimento da relação entre os atributos químicos do solo e a dinâmica dos fertilizantes nitrogenados. Tendo em vista a intensificação dos sistemas produtivos e o constante uso de calcário aplicado em superfície, é importante compreender as perdas de N por volatilização após a calagem em PD para aumentar a eficiência do uso do N na agricultura. Nossa hipótese é que os fertilizantes estabilizados são mais efetivos em reduzir perdas de $N\text{-}NH_3$ por volatilização em relação a ureia quando aplicado em solo de pH corrigido com o uso de calcário. O objetivo deste estudo foi quantificar, em condições de campo, perdas de amônia de fertilizantes nitrogenados após aplicação superficial de doses de calcário dolomítico em plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimentos a campo foram conduzidos durante a segunda safra de milho (*Zea mays* L.) nos anos de 2016 e 2017 na cidade de Floresta, Paraná, Brasil (23° 35' S 52° 04' W, com altitude média de 392 m). O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico de textura argilosa e tem sido cultivado em PD por mais de 20 anos. A caracterização inicial do solo antes da aplicação do calcário apresentou os seguintes atributos químicos e granulométrico na camada de 0,00 – 0,20 m: 4,9 de pH em $CaCl_2$, 17,7 g dm^{-3} de C, e 770 g kg^{-1} de argila. O clima da área é classificado como Cfa (subtropical úmido;

Köppen, 2011). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos com tratamentos ao acaso, em esquema fatorial 4x4 com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas principais corresponderam a quatro doses de calcário dolomítico (0, 2,6; 5,4 e 8,1 Mg ha^{-1}) aplicadas sobre a superfície do solo e as subparcelas à aplicação de diferentes fertilizantes nitrogenados, sendo eles: ureia convencional (Ur, 45% N), ureia revestida com Cu e B (Ur-Cu+B; 0,15% Cu, 0,4% B e 44% N), ureia tratada com NBPT (Ur-NBPT, 46% N e 0,53% NBPT) e sulfato de amônio (SA, 21% N e 22% S). O calcário dolomítico apresentava 207 g kg^{-1} de Ca, 114 g kg^{-1} de Mg e 90% de equivalente efetivo de carbonato de cálcio. As doses de calcário foram ajustadas para base seca. Após aplicação em superfície do calcário, a área foi cultivada sob sucessão soja [*Glycine max* (L.) Merr.] e milho segunda safra.

As determinações de volatilização de N-NH_3 foram realizadas aos 24 e 36 meses após a aplicação superficial de calcário. Em ambos os momentos as fontes nitrogenadas foram aplicadas durante o desenvolvimento da cultura de milho, na dose de 100 kg ha^{-1} de N e após precipitação pluviométrica superior a 20 mm. A captura de volatilização de N-NH_3 foi iniciada logo após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados. O método empregado para captura foi o da câmara semi-estática construída a partir de garrafas de polietileno tereftalato (Araújo *et al*., 2009). As amostragens foram realizadas no 3°, 5°, 7°, 9° e 13° dia após aplicação do N, e no 2°, 4°, 6°, 9°, 13°, 16° e 18° dia após aplicação do N aos 24 e 36 meses após a aplicação do calcário, respectivamente. A determinação da N-NH_3 foi realizada a partir da espectrofotometria UV/VIS.

Os dados de volatilização de N-NH_3 aos 24 e 36 meses após a aplicação de calcário foram submetidos à análise de regressão não linear utilizando o modelo logístico. Para isso foi realizado a seleção do modelo por meio do critério de informação de Akaike (AIC), em que o modelo com menor AIC foi escolhido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o modelo logístico ajustado, a perda máxima acumulada (α) variou conforme a fonte de N, dose de calcário e o tempo após a aplicação do calcário (Tabela 1). Independentemente do momento avaliado e das doses de calcário, a perda acumulada de N-NH_3 apresentou a seguinte ordem decrescente: Ur > Ur-Cu+B >Ur-NBPT > SA, exceto aos 36 meses após a aplicação de 5,4 Mg ha^{-1} de calcário, em que a perda acumulada de N-NH_3 apresentou a seguinte ordem decrescente: Ur = Ur-Cu+B >Ur-NBPT > SA (Tabela 1). Em relação a calagem, o modelo logístico revelou que a volatilização total de N-NH_3 ao longo do tempo foi intensificada pela aplicação em superfície do calcário para todas as fontes, tanto aos 24 quanto aos 36 após a calagem (Figura 1). Esse aumento foi linear para todas as fontes, exceto para Ur-Cu+B aos 36 meses após calagem. Analisando os coeficientes angulares das retas ajustadas observou-se que a sensibilidade das fontes testadas quanto a perda acumulada de N-NH_3 em relação as doses de calcário apresentaram a seguinte ordem decrescente Ur > Ur-Cu+B >Ur-NBPT > SA.

Dentre os fertilizantes baseados em Ur, o com estabilizador NBPT (Ur-NBPT) se mostrou o mais eficiente na mitigação de volatilização. Após aplicação no solo, o NBPT é transformado em seu análogo de oxigênio NBPTO, o qual forma uma ligação tridentada com o sítio ativo da urease, bloqueando a enzima e, portanto, reduzindo a atividade da urease (Manunza *et al*., 1999). Por outro lado, a Ur-Cu+B teve pouco efeito em mitigar as perdas por volatilização de N-NH_3. Esse achado está de acordo com o observado por Cantarella (2018), que relatou que os benefícios do ácido bórico e do Cu são inconsistentes.

Considerando o Latossolo argiloso estudado, nossos resultados indicam que o uso de SA reduz as perdas de N-NH_3 por volatilização após calagem. A vantagem do SA é que, ao ser aplicado em solos de pH menor que 7, o NH_4^+ liberado permanece na forma iônica e estável, ao passo que a ureia ao ser aplicada é enzimaticamente hidrolizada a N-amoniacal, processo que resulta no aumento do pH na granulosfera e posteriormente na volatilização de NH_3. Em ambos os anos estudados a volatilização total do SA não ultrapassou 10% do N aplicado em nenhuma das doses de calcário.

Tabela 1. Parâmetros estimados do modelo logístico para cada fonte de N estudada nos níveis sem calcário e 8,1 Mg ha^{-1} de calcário.

Fertilizante nitrogenado	Dose de calcário (Mg ha^{-1})	Parâmetros estimados			MDL[1]	Aumento nas perdas acumuladas máximas de N-NH_3 em relação ao tratamento sem calcário[2]
		α	γ	β		
		kg ha^{-1} de N-NH_3 ou % N-NH_3		dia	kg ha^{-1} dia^{-1} N-NH_3 ou % dia^{-1} N-NH_3	%
24 meses após a calagem						
Ureia (Ur)	0	19	0,67	5	7	-
Ur-Cu+B	0	18	0,63	6	7	-
Ur-NBPT	0	13	0,62	6	5	-
AS[3]	0	2	0,42	6	1	-
Ur	8,1	32	0,70	4	11	68
Ur-Cu+B	8,1	31	0,65	5	12	72
Ur-NBPT	8,1	25	0,65	6	10	92
AS	8,1	9	0,49	5	5	350
36 meses após a calagem						
Ur	0	16	0,50	7	8	-
Ur-Cu+B	0	12	0,64	6	5	-
Ur-NBPT	0	7	0,44	10	4	-
AS	0	0,25	0,33	8	0,2	-
Ur	8,1	32	0,55	6	14	100
Ur-Cu+B	8,1	31	0,59	6	13	158
Ur-NBPT	8,1	19	0,38	10	12	171
AS	8,1	6	0,30	7	5	2300

Em que: Y` representa a quantidade de N volatilizado na forma de N-NH_3 (kg ha^{-1}) no tempo t (dias); α representa a volatilização acumulada máxima; β representa o tempo em que 50% das perdas ocorreram, correspondendo ao ponto de inflexão da curva (dia em que a máxima perda diária de N-NH_3 ocorreu); e γ representa um parâmetro usado para calcular a máxima perda diária de N-NH_3 (MDL).

CONCLUSÕES

A calagem superficial em PD aumenta as perdas por volatilização de N-NH_3. As perdas de N por volatilização são de até 32% do N aplicado e evoluem proporcionalmente com o aumento das doses de calcário. Para cada tonelada de calcário aplicada a volatilização de NH_3-N aumenta em 1,7 a 3,7% para Ur, 1,6% a 5,1% (até a dose de 8,1 Mg ha^{-1} aos 36 meses da calagem) para Ur-Cu+B, 1,5 a 1,8 % para Ur-NBPT e 0,5 a 0,9% para SA. Nossa pesquisa revelou que fontes nitrogenadas amoniacais, como o SA; e fontes de eficiência aumentada, como Ur-NBPT, devem ser usadas preferencialmente em detrimento a Ur pela maior eficiência em reduzir a volatilização total e atrasar o pico de volatilização após calagem em PD.

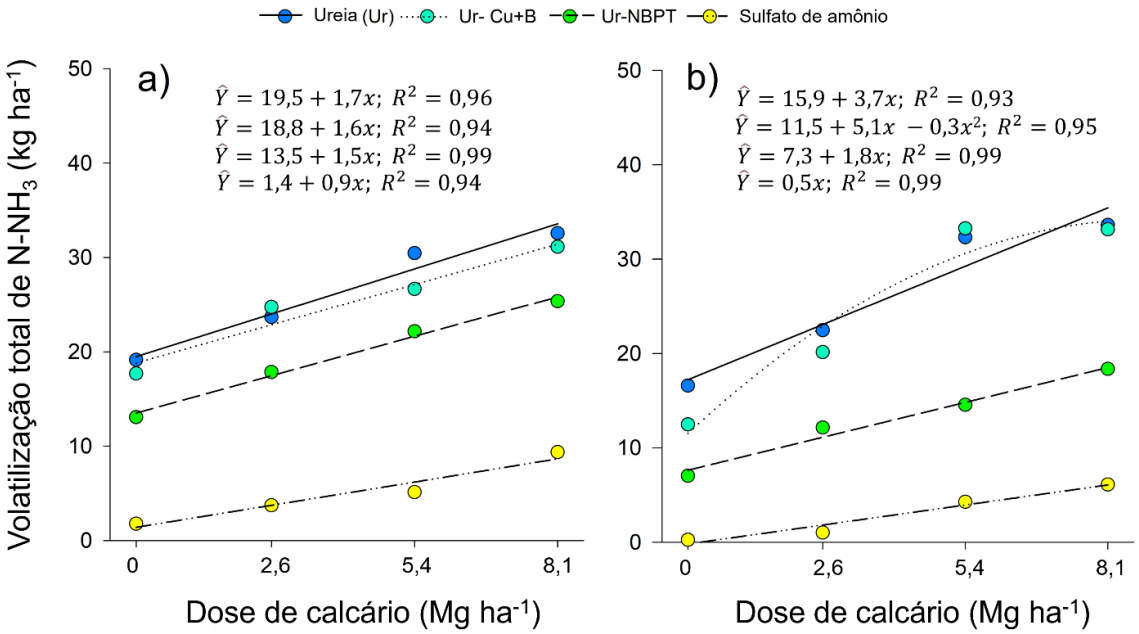


Figura 1. Volatilização total de N-NH_3 em função de doses de calcário aos a) 24 meses e b) 36 após a calagem.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao Grupo de Estudos em Solos (GESSO-UEM) pelo suporte nos experimentos.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, E. da S; MARSOLA, T., MIYAZAWA, M., SOARES, L. H. de B., URQUIAGA, S., BODDEY, R. M., ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 769–776, 2009.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. Global spread of Conservation Agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, v. 76, n. 1, p. 29–51, 2019.

MANUNZA, B.; DEIANA, S.; PINTORE, M.; GESSA, C. The binding mechanism of urea, hydroxamic acid and N-(N-butyl)-phosphoric triamide to the urease active site. A comparative molecular dynamics study. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, n. 5, p. 789–796, 1999.

MINATO, E. A. *et al*. Lime and gypsum application to low-acidity soils: Changes in soil chemical properties, residual lime content and crop agronomic performance. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 105860, 2023.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

UM FOSFATO NATURAL DE ROCHA PODE SER UM INIBIDOR NATURAL DA MINERALIZAÇÃO/NITRIFICAÇÃO DO NITROGÊNIO DE UM ADUBO ORGÂNICO?

Renato Yagi[1*], André Luiz Oliveira de Francisco[2], Andressa Kerecz Tavares[3], Thomas Jeferson Gulhotti[4], Niuziele Franco Tremarin[4]

[1]Pesquisador do IDR-Paraná, [2]Profissional de ciência e tecnologia do IDR-Paraná, [3]Professora da UFPR, [4]Estudante de graduação da UFPR. *ryagi@idr.pr.gov.br

RESUMO

O uso conjunto de adubos orgânicos e minerais é uma modalidade técnica dentro do conceito de manejo integrado da fertilidade do solo. O objetivo foi investigar a mineralização do nitrogênio orgânico e a nitrificação do amônio a partir da incubação de amostras de um Latossolo Vermelho com misturas de cama de aviário (80 g) com 4 doses (0, 35, 70 e 105 g) de fosforita Alvorada por 90 dias. Foi empregado um delineamento inteiramente ao acaso com 4 tratamentos e 6 repetições. Diminuições lineares dos teores de amônio+nitrato (R^2 = 0,92**) e de nitrato (R^2 = 0,80*) do solo foram observados com o aumento das doses do adubo orgânico nas misturas com cama de aviário. Nossos resultados trazem *insights* de que a fosforita Alvorada pode ser um condicionante físico-químico para produção de fertilizantes organo-minerais on-farm ou granulados para empreendimentos agropecuários de diferentes nichos e tamanhos.

PALAVRAS-CHAVE: cama de aviário; fosforita Alvorada; ciclo do nitrogênio.

INTRODUÇÃO

O manejo integrado da fertilidade do solo é um conceito que preconiza a combinação de diversos insumos e estratégias para se aumentar sustentavelmente a eficiência no uso de nutrientes pelas plantas e diminuir passivos ambientais (Agegnehu e Amede, 2017). Esta linha de pesquisa é há tempos estudada em países africanos e hoje tem sido abordada e chamada em condições tropicais e subtropicais brasileiras de "*agricultura regenerativa*".

No entanto, mais do que complementar o fornecimento de nutrientes dos adubos orgânicos para as plantas, o uso conjunto de adubos minerais pode servir no condicionamento físico-químico destes (Prochnow *et al*., 2001; Yagi *et al*., 2020) e/ou afetar a atividade microbiana (Sánchez *et al*., 2017; Yagi *et al*., 2020), interferindo na dinâmica do nitrogênio (N) do solo. Os superfosfatos solúveis, simples e em maior grau o triplo, têm o poder de reduzir as perdas de N por volatilização de amônia (NH_3) devido respectivamente ao efeito residual resultante do ataque ácido à rocha fosfatada e à formação de fosfatos de amônio (Prochnow *et al*., 2001).

Em contrapartida, a liberação de íons fluoreto (Fl^-) pela dissolução de pós de rochas fosfatadas pode inibir a atividade microbiana, diminuindo a decomposição orgânica no processo de compostagem (Sánchez *et al*., 2017). A partir desta premissa, formulou-se a hipótese de que a mistura de fosforita Alvorada, um remineralizador produzido em jazida no Vale do Ribeira no interior de São Paulo, à uma cama de aviário poderia retardar sua decomposição e mineralização e/ou inibir a nitrificação do amônio (NH_4^+) resultante.

Este estudo laboratorial poderia embasar, assim, um suposto aumento da disponibilidade de N por mais longo prazo para a cultura do milho silagem planta inteira com a aplicação de cama de aviário com fosforita Alvorada, que incrementou (p < 0,05) em 20% e 28% as produtividades de espigas em relação às aplicações isoladas destes dois fertilizantes, respectivamente (Yagi *et al*., 2020). Em outro experimento, estes mesmos autores também observaram que doses de fosforita Alvorada misturadas a uma dose fixa de cama de aviário aumentaram (p < 0,01) quadraticamente as produtividades de grãos de milho, corroborando a hipótese de que a mistura destes dois insumos poderia afetar a dinâmica e as transformações do N no solo.

O objetivo com este estudo foi avaliar a mineralização do N orgânico e a nitrificação do NH_4^+ em amostras de um Latossolo Vermelho de textura argilosa com doses de fosforita Alvorada misturadas a cama de aviário.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de laboratório no Polo Regional de Pesquisa e Inovação de Ponta Grossa (25° 5' 40" S, 50° 9' 48" O), no segundo semestre de 2021. Foram empregadas amostras de um Latossolo Vermelho de textura argilosa, que foi caracterizado química (Pavan *et al.,* 1992) e fisicamente (Embrapa, 1997), apresentando os seguintes resultados: pH($CaCl_2$) = 5,5; C orgânico (Walkley & Black) = 27,4 g dm^{-3}; P (Mehlich-1) = 6,4 mg dm^{-3}; K (Mehlich-1) = 0,41 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca (KCl) = 6,2 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg (KCl) = 3,6 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al= 5,0 $cmol_c$ dm^{-3}; V= 75%; areia = 307 g kg^{-1}; silte = 346 g kg^{-1} e argila = 347 g kg^{-1}.

Foi empregado delineamento inteiramente ao acaso, com 4 tratamentos e 6 repetições. A 160 g de solo tamisado (4 mm) e homogeneizado, foram misturados a uma dose fixa de cama de aviário (80 g) as doses de 0, 35, 70 e 105 g de fosforita Alvorada (24% de P_2O_5 total, 4% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e 20% de CaO, conforme fabricante). A cama de aviário foi caracterizada (Tedesco *et al*., 1995), apresentando os seguintes resultados: 16 % de umidade, 28,2 de C, 25,2 de N, 11,8 de P, 33,7 de K, 48,1 de Ca, 17,8 de Mg (em g kg^{-1}), 732,6 de Cu, 721,8 de Zn, 54,8 de B e 770,9 de Mn (em mg kg^{-1}).

O solo e os adubos orgânico (fresco, recém vindo de granja de aves) e mineral foram misturados e colocados em recipientes de plástico com capacidade para 700 cm^3. Em seguida foi adicionada água destilada a 60% da capacidade de retenção de água, mantendo-se esta condição por meio de pesagens e reposições semanais por um período de 90 dias em condições de laboratório a uma temperatura de 25±5°C. Após o período de incubação, as amostras de solo com fertilizantes foram secas à sombra e tamisados em peneira de 1,0 mm de abertura de malha. As extrações de NH_4^+ e NO_3^- foram feitas baseadas no método do salicilato (Kempers e Zweers, 1986). Em linhas gerais foi feita empregando-se extração com solução de K_2SO_4 0,1 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,1 mol L^{-1}, redução do NO_3^- com zinco metálico (com curva de calibração também com solução de KNO_3 à parte devido redução parcial do NO_3^- à NH_4^+), e determinação com soluções de ácido salicílico, nitroprussiato de sódio e hipoclorito de sódio pautadas em curva de calibração feita com $(NH_4)_2SO_4$, em leituras a 697 nm em espectrofotômetro ultravioleta-visível.

Após verificação dos testes de homogeneidade de variâncias e de normalidade, os teores de NH_4^+ e NO_3^- do solo foram submetidas às análises de variância e de regressão polinomial a 5% e a 1% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeitos (p < 0,05) dos tratamentos e reduções lineares (p = 0,01) dos teores de NO_3^- e de NH_4^+ + NO_3^- do solo, mas não dos de NH_4^+, com as doses de fosforita Alvorada misturadas a uma dose fixa de cama de aviário (Figura 1). Isto indica que a hipótese deste estudo foi confirmada parcialmente, ou seja, a fosforita Alvorada apresentou-se como um inibidor na nitrificação do NH_4^+ presente e o decorrente da decomposição da cama de aviário. As diminuições máximas dos teores de NO_3^- e de NH_4^+ + NO_3^- do solo foram respectivamente de 35,4% e de 46,8% com a dose de 105 g do fosfato natural para 80 g do adubo orgânico.

Os efeitos dos tratamentos nos teores de N mineral como um todo podem ser atribuídos ao alto percentual de NO_3^- nestes, de 63,2% em média. Entretanto, a julgar pelos efeitos dos tratamentos nos teores de NH_4^+ do solo (p = 0,15) e pelos maiores coeficientes de determinação (R^2) e angular das equações (b) das regressões com NH_4^+ + NO_3^- em comparação aos da regressão com os teores de NO_3^-, pode-se que houve sim uma tendência de inibição da mineralização do N orgânico com as doses de fosforita Alvorada. Este resultado corrobora a justificativa que as maiores produtividades de espigas em cultura de milho silagem e de grãos

observadas com esta mistura destes adubos orgânico e mineral (Yagi *et al*., 2020), pode ser atribuída à uma liberação mais lenta de N mineral para as plantas de milho.

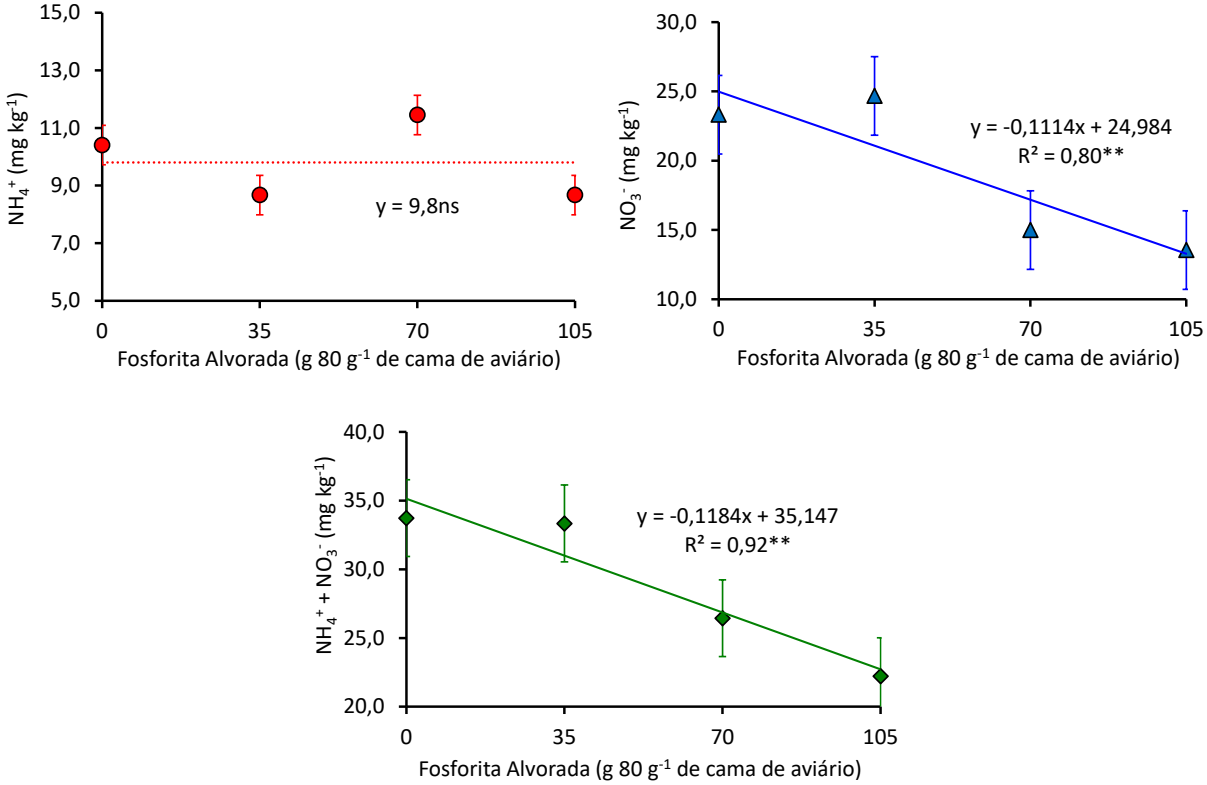


Figura 1. Teores de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e amônio+nitrato ($NH_4^+ + NO_3^-$) em amostras de solo incubadas com cama de aviário misturada com doses de fosforita Alvorada. ** e *, significativo a 1% de probabilidade. Barras verticais mostram o erro padrão da média.

Considerando a proporção de 2:1 de cama:fosfato no experimento com milho silagem e a proporção de máxima eficiência técnica, também de 2:1, para cultura de milho-grãos observada pelos últimos autores, haveria reduções de 17,8% e de 13,5% dos teores de NO_3^- e de $NH_4^+ + NO_3^-$ do solo (Figura 1) em 90 dias. Isto justificaria o efeito desta mistura quando os tratamentos foram aplicados somente no outono antes da cultura de milho silagem, e não imediatamente antes da semeadura desta (Yagi *et al*., 2020). Estes resultados podem estar associados à inibição da atividade microbiana proporcionada pelo fornecimento de P ou de Fl^- com fosfatos naturais adicionais complementados no processo da compostagem (Sánchez *et al*., 2017).

Conforme compilado por Yagi *et al*., (2020), misturas de adubos orgânicos e fosfatos naturais de rocha no processo de compostagem têm como princípio tanto o enriquecimento e a complementação do adubo orgânico em P quanto a dissolução da rocha fosfatada por meio da acidificação provocada com ácidos orgânicos na decomposição e de prótons na nitrificação. Entretanto, antes do P a dissolução ácida das apatitas libera sequencialmente F e Ca (Dorozhkin, 1997) e os íons Fl^- podem inibir a nitrificação do NH_4^+, aumentar a dessorção de P e a dissolução da matéria orgânica (Wilke, 1987). Desta forma, nossos resultados indicam que é promissora a possibilidade de produção de fertilizante organo-mineral de liberação lenta de N na própria propriedade (*on farm*), ou a partir do processo de granulação para favorecer a aplicação em semeadoras. Em ambos os casos, mais pesquisas são necessárias para se confirmar a eficiência desta estratégia de manejo integrado da fertilidade do solo para culturas diversas.

CONCLUSÕES

A mistura de fosfato natural de rocha Alvorada com cama de aviário fresca diminui a nitrificação do amônio e possivelmente também inibe a mineralização do nitrogênio orgânico, trazendo *insights* de que o manejo integrado da fertilidade do solo com adubos orgânicos e minerais possa explorar aspectos físico-químicos destes fertilizantes.

BIBLIOGRAFIA

AGEGNEHU, G.; AMEDE, T. Integrated soil fertility and plant nutrient management in tropical agro-ecosystems: a review. **Pedosphere**, Nanjing, 27(4): 662–680, 2017.

DOROZHKIN, S.V. Surface reactions of apatite dissolution. **Journal of Colloid and Interface Science**, Uppsala, v. 191, p. 489-497, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997

KEMPERS, A. J.; ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 17, n. 7, p. 715-723, 1986.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Iapar, 1992. (Circular técnica, 76).

PROCHNOW, L. I.; CUNHA, C. F.; KIEHL, J. D. C.; ALCARDE, J. C. Controle da volatilização de amônia em compostagem, mediante adição de gesso agrícola e superfosfatos com diferentes níveis de acidez residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 65-70, 2001.

SÁNCHEZ, Ó. J.; OSPINA, D. A.; MONTOYA, S. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. **Waste management**, Caserta, v. 69, p. 136-153, 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

WILKE, B. M. Fluoride-induced changes in chemical properties and microbial activity of mull, moder and mor soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 5, p. 49-55, 1987.

YAGI, R.; QUADROS, T. C. F.; MARTINS, B. H.; ANDRADE, D. S. Maize yields and carbon pools in response to poultry litter, rock phosphate and P-solubilizing microorganisms. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 77, p. e20180141, 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM RESPOSTA À ROCHAGEM ASSOCIADA À ROTAÇÃO DE CULTURAS

Elizabete Monteiro Rodrigues Alves dos Santos[1*], Abraão Huang[1], Yasmin Blauzius[1], Ana Luiza Sacramento[1], Letícia de Pierri[2]

[1]Estudante de graduação, PUCPR; [2]Professora, PUCPR; *elizabetemonteiro44@gmail.com

RESUMO

A agropecuária brasileira vem se desenvolvendo consideravelmente, embora ainda exista uma grande dependência da importação de fertilizantes. Este trabalho avalia os efeitos da rochagem associada à rotação de culturas em atributos físicos e químicos do solo. A área experimental foi dividida em duas partes iguais, com o cultivo de trigo mourisco/camomila e girassol/linhaça na safra 2023/2024. Dois tratamentos foram aplicados: T1 (testemunha) e T2 (aplicação de pó de basalto), com 15 repetições por tratamento em cada rotação. Analisaram-se densidade do solo, resistência à penetração e teor de potássio disponível. Não houve diferença entre os tratamentos para o primeiro ano, em que a densidade variou de 1,39 a 1,47 g cm^{-3}, a resistência à penetração média até 60 cm variou entre 1,18 e 1,38 MPa, e o teor de potássio variou de 0,77 a 0,93 cmolc dm^{-3}. Conclui-se que a continuidade do experimento é necessária para obter resultados mais robustos.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura conservacionista; adubação; rotação de culturas; culturas alternativas.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento crescente da agropecuária no Brasil lhe conferiu a posição de um dos principais produtores de alimentos do mundo. No entanto, a produção nacional de insumos, em especial dos fertilizantes, tornou-se incapaz de suprir a demanda do país. Deste modo, a agricultura brasileira passou a depender fortemente da importação destes insumos (BRASIL, 2023).

Desta forma, é imprescindível a proposição de alternativas que substituam – parcialmente e até mesmo totalmente - a utilização de fertilizantes industriais na produção do país, para assim, conferir maior segurança e melhores oportunidades econômicas aos produtores, em especial os pequenos, além de assegurar uma maior sustentabilidade ambiental à produção.

A rochagem surge como uma ótima possibilidade neste cenário, como uma prática conservacionista de manejo do solo. Consiste em uma técnica que utiliza o pó de rochas moídas com a finalidade de fertilização do solo. Este método já vem sendo empregado há muitos anos na agricultura com a calagem e a fosfatagem (PÁDUA, 2012).

Pode-se observar, desta forma, que a utilização do pó de rocha na agricultura vem apresentando uma certa relevância no Brasil nos últimos anos. No entanto, ainda são poucos os estudos sobre a temática, os quais determinem quais são os materiais de pó de rocha com melhores resultados e quais seriam as dosagens e a granulometria mais indicadas para o seu uso, além de como se comportaria no cultivo de diferentes espécies e, maneiras de aumentar a solubilidade dos elementos que constituem o material (PÁDUA, 2012). Ainda, os sistemas conservacionistas de manejo do solo, incluindo a prática de rotação de culturas, favorecem os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, diminuindo, assim, a dependência pelos fertilizantes convencionais.

O presente trabalho visa analisar os efeitos da rochagem aliada à rotação de culturas, com espécies alternativas e de interesse econômico, nos atributos físicos e químicos do solo, buscando estabelecer manejos que aliem sustentabilidade com rentabilidade ao produtor rural.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada nas dependências da Fazenda Experimental Gralha Azul (FEGA), localizada no município de Fazenda Rio Grande, no estado do Paraná. A fazenda está situada na latitude 25° 39’ S, longitude 49° 16’ O com altitude média de 895 metros e o clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb. Previamente à aplicação dos tratamentos, amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas para sua caracterização. Os resultados demonstraram que o solo da área possuía textura argilosa e era considerado de alta fertilidade e sem problemas de adensamento (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de caracterização do solo da área inicial do experimento (TEIXEIRA *et al.,* 2017).

pH $CaCl_2$	Al	Ca	Mg	K	SB	t	T	V	m	P Mehlich	MO	areia	Argila	Silte	Ds
-	$cmol_c\ dm^{-3}$							%		$mg\ dm^{-3}$	%				$g\ cm^{-3}$
6,1	0,0	11,6	4,1	0,95	16,7	16,8	23,0	72,	0,6	20,1	4,4	38	42	20	1,19

Fonte: os autores (2024). SB: soma de bases; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; CO: carbono orgânico; MO: matéria orgânica; Ds: densidade do solo.

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado com 15 repetições, sendo separado em duas partes iguais, uma destinada ao cultivo da rotação girassol - *Helianthus annus* L. - e linhaça - *Linum usitatissimum* L. - e a outra para trigo mourisco – *Fogopyrum esculentum* - e camomila - *Matricaria chamomilla*. Cada esquema de rotação continha 30 parcelas experimentais de 9 m² (3 m x 3 m), totalizando 60 parcelas, em que foi testada aplicação de pó de basalto comercial (T2) frente ao tratamento testemunha (sem rochagem, T1). O pó de basalto (Mineralle Agro: 8% de CaO, 3% de MgO e 1% de K_2O) foi aplicado em cobertura após o plantio das espécies, na dose de 1 Mg ha^{-1} (900 g por parcela).

O plantio do girassol ocorreu no início de novembro e foi feito de maneira manual, com espaçamento de 70 cm entre linhas e 0,25 m entre plantas. Com a finalização da safra do girassol, fez-se necessário a aplicação de herbicida 2,4 D e glifosato para que, assim, a palhada fosse acamada. O plantio da linhaça se deu com o auxílio de uma semeadora manual, utilizando espaçamento entre linhas de 40 cm e densidade de 1.500.000 plantas por ha. No segundo esquema de rotação, o plantio do trigo mourisco foi feito com uma semeadora manual, em espaçamento de 17 cm entre linha e 30 a 40 sementes por metro linear. Após a finalização da safra de verão, foi realizada a semeadura de camomila a lanço, na densidade de 250 plantas por m².

Após a finalização do desenvolvimento vegetal foram realizadas amostragens do solo das parcelas do experimento. Foi retirada uma amostra indeformada do solo por parcela, com o auxílio do anel volumétrico de Kopecky, em 28 parcelas da área experimental total. Paralelamente, 28 parcelas foram amostradas com o auxílio de um trado holandês (0-20 cm) para análise do teor de potássio disponível. As amostras foram analisadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da PUC - PR com base na metodologia da EMBRAPA com autoria de Teixeira *et al.* (2017). Em todas as parcelas experimentais a resistência à penetração foi mensurada utilizando-se um penetrômetro digital até 60 cm de profundidade.

Os resultados obtidos de densidade global, potássio disponível e resistência à penetração foram submetidos aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade e, posteriormente, à análise de variância a partir do software estatístico Assistat.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo após um ano de implantação do sistema de rotação de culturas apresentou uma pequena elevação em relação à densidade inicial do experimento, alcançando um valor máximo de 1,47 g cm^{-3} no tratamento com rochagem da rotação de culturas girassol/linhaça (Tabela 2).

Tabela 2. Densidade (g cm^{-3}, 0-20 cm) e resistência à penetração (MPa, 0-60 cm) de um solo submetido à rotação de culturas e aplicação de pó de basalto após o primeiro ano de experimento, no município de Fazenda Rio Grande – PR. Médias de 7 repetições. ns: não significativo.

	Densidade		Resistência à penetração	
Tratamento	**Rotação girassol/linhaça**	**Rotação trigo mourisco/camomila**	**Rotação girassol/linhaça**	**Rotação trigo mourisco/camomila**
Sem rochagem	1,41 ns	1,39 ns	1,38 ns	1,18 ns
Com rochagem	1,47	1,41	1,34	1,25
DMS	**0,11**	**0,24**	**0,11**	**0,10**
CV%	**6,64**	**13,36**	**11,12**	**11,84**

Fonte: os autores (2024).

Observa-se que a aplicação de pó de basalto não diferiu do tratamento testemunha, ou seja, a rochagem não interferiu tanto na densidade do solo quanto na resistência à penetração para ambos os esquemas de rotação de culturas durante o período de avaliação de um ano. A resistência à penetração média até 60 cm de profundidade variou entre 1,18 e 1,38 MPa (Tabela 2), não indicando interferência da rochagem no primeiro ano de avaliação. Esse comportamento se confirmou na avaliação do perfil de resistência à penetração (Figura 1), sem influência dos tratamentos para essa variável.

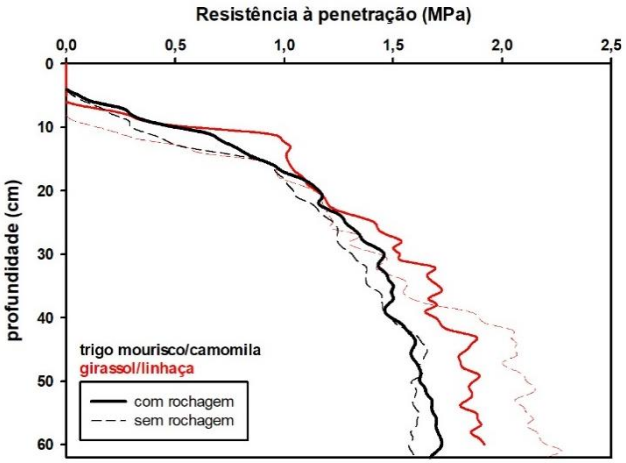


Figura 1. Influência do pó de basalto e da rotação de culturas na resistência à penetração (MPa) de um solo do município de Fazenda Rio Grande – PR. Médias de 15 repetições ($p > 0,05$). Fonte: os autores (2024).

O aumento da densidade do solo durante o primeiro ano de conversão do sistema de preparo convencional para plantio direto (PD) também foi constatado em outros experimentos relatados na literatura. Em uma pesquisa realizada por SILVEIRA *et al.* (2008), analisou-se os efeitos de quatro sistemas de manejo do solo sob PD seguido de um preparo com arado anualmente, PD seguido de preparo com arado, PD seguido de preparo com arado trienalmente e PD contínuo – juntamente com rotações de culturas sobre a densidade e a porosidade do solo durante seis anos, no município de Santo Antônio de Goiás (GO). Constatou-se que a densidade do solo no PD contínuo apresentou um valor maior do que os dos demais manejos. Todavia, esse tratamento apresentou uma forte tendência a diminuir sua densidade na camada de 0 – 20 cm ao longo dos anos.

Os teores de potássio disponível no solo podem ser observados na Tabela 3. É possível verificar que não houve diferença entre os tratamentos, para os dois esquemas de rotação de culturas, indicando que a

aplicação de pó de basalto não aumentou o teor desse nutriente durante o primeiro ano de rochagem na área experimental (teor inicial de 0,95 $cmol_c\ dm^{-3}$, Tabela 1).

Tabela 3. Teor de K disponível ($cmol_c\ dm^{-3}$) de um solo submetido à rotação de culturas e aplicação de pó de basalto após o primeiro ano de experimento, no município de Fazenda Rio Grande – PR. Médias de 28 repetições. ns: não significativo.

Tratamento	Rotação girassol/linhaça	Rotação trigo mourisco/camomila
Sem rochagem	0,93 ns	0,77 ns
Com rochagem	0,80	0,93
DMS	**0,26**	**0,38**
CV%	**25,42**	**38,24**

Fonte: os autores (2024).

ALOVISI *et al.* (2017) avaliaram o efeito da aplicação de pó de basalto em cinco doses crescentes (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha^{-1}) sobre a disponibilidade dos nutrientes no solo por meio de sua incubação por 30, 90 e 120 dias. Os teores de potássio apresentaram um maior valor no solo incubado por até 30 dias na dose de 13,4 Mg ha^{-1} de pó de basalto, com 0,63 $cmol_c/dm^3$. Ainda constataram que o uso do pó de basalto aumenta principalmente os teores dos cátions cálcio e magnésio com o aumento da dosagem após 90 dias da aplicação. Desta forma, a rochagem libera os nutrientes essenciais às plantas em uma quantidade pequena e paulatina, de modo que os pesquisadores sugerem que tal mecanismo de adubação alternativa seja utilizada de forma a complementar a adubação convencional.

CONCLUSÕES

A aplicação do pó de rocha não proporciona alteração dos atributos físicos e químicos do solo em diferentes esquemas de rotação de culturas no primeiro ano de implementação do sistema. Desta forma, é necessário observar os efeitos da rochagem associada à rotação de culturas por médio a longo prazo, a fim de se obter resultados mais robustos com relação à sua influência no solo.

BIBLIOGRAFIA

ALOVISI, A M. T. *et al*. Alterações nos atributos químicos do solo com aplicação de pó de basalto. *In:* SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE ENERGIA NA AGRICULTURA, 2., Cascavel, 2017. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 5, p. 69-79.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Conselho aprova Plano Nacional de Fertilizantes com metas para superar dependência externa**. [Brasília]: Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, 29 nov. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/novembro/conselho-aprova-plano-nacional-de-fertilizantes-com-metas-para-superar-dependencia-externa> Acesso em: 23 fev. 2025.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como Adubação Complementar para Culturas Oleaginosas.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lavras, 2012.

SILVEIRA, J. M; MESQUITA, C. M.; PORTUGAL, F. A. F. **Colheita do Girassol.** *In:* LEITE, R.M.V.B de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C de (ed.). Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap. 19.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. e.d. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DE MANEJOS DE SOLO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA COMUNIDADE DE PLANTAS DANINHAS EM CULTIVO DE MILHO ORGÂNICO

Edleusa Pereira Seidel[1*], Pedro Hermínio Delázari Bueno Donini[2],
[1]Professora do Centro de Ciências Agrárias, e-mail edleusa.seidel@unioeste.br; [2]Egresso de Agronomia da Unioeste.

RESUMO

As plantas daninhas e as propriedades físicas do solo são fatores críticos na produção orgânica, tendo grandes impactos na produtividade das culturas. É possível observar uma presença de plantas daninhas específicas em determinados padrões de má qualidade do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades físicas do solo em dois manejos: plantio direto e convencional em sistema de cultivo agroecológico; bem como, a dinâmica de plantas daninhas. O experimento foi realizado na Estação experimental, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Prof. Dr. Alcebíades Luíz Orlando, localizada na cidade de Entre Rios-PR. O delineamento foi inteiramente ao acaso. Definiu-se um talhão na área do CVT de agroecologia, nesta área foram realizados dois manejos de solo: plantio direto orgânico (SPDO) e o sistema convencional com gradagem (SC) realizada antes da semeadura. Em cada manejo dividiu-se a área em dez partes e em cada parte coletou-se duas amostras, totalizando 20 pontos de coleta. Para análises físicas do solo as coletas foram realizadas em duas profundidades de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. As amostragens foram realizadas coletando-se amostras indeformadas com auxílio de um anel volumétrico. Os testes de resistência à penetração foram feitos com auxílio do penetrômetro de bancada e o levantamento fitossociológico das plantas daninhas foi realizado pelo método do quadrado inventário, sendo que os pontos de amostragem das plantas daninhas seguiram os mesmos pontos das amostragens físicas. Os resultados demonstraram menor macroporosidade, porosidade total e resistência do solo a penetração (RP) na profundidade de 0,10 a 0,20 m. Na área que com manejo de solo com grade niveladora houve maior RP. O SC teve uma maior diversidade de plantas daninhas, destaque para poaia branca *(Richardia brasiliensis*) e trapoeraba (*Commelina benghalensis*). O SPDO apresentou grande emergência de trigo (*Triticum aestivum*) e de poaia branca pela maior disposição superficial de suas sementes.

PALAVRAS-CHAVE: cultivo orgânico; plantas daninhas; física do solo; plantio direto.

INTRODUÇÃO

A agricultura orgânica é reconhecida como uma abordagem sustentável que prioriza a saúde do solo e a redução da dependência de insumos químicos (Reganold e Wachter, 2016). A ausência de pesticidas sintéticos é uma das características marcantes desse sistema, o que traz grandes benefícios para a saúde humana (Smith-Spangler *et al*.; 2012).

O manejo de solo utilizado nos cultivos orgânicos geralmente é o convencional, ou seja, com movimentação do solo visando o preparo do solo para a semeadura e o controle de plantas daninhas. O controle de plantas daninhas é muito importante; pois, elas podem reduzir a produtividade das culturas. No milho esta redução pode ser de até 65,0% (Gantoli *et al*., 2013).

No sistema de plantio direto orgânico (SPDO), a movimentação de solo é apenas no sulco de semeadura. Desta forma, neste sistema o controle de plantas daninhas deve ser realizado de outra forma. A mais comum em pequenas áreas é a capina manual, que tem baixo rendimento, e necessita de muita mão de obra. Também existe a opção do controle mecânico tendo o desenvolvimento de cultivadores ou capinadores mecânicos automatizados que aumentam o rendimento operacional e a eficiência do manejo das plantas daninhas. Outra opção é o controle térmico por meio de fogo (gás propano) e de eletricidade (Costa *et al*.,2018) ou a vapor. No entanto, essas máquinas ainda não possuem um rendimento muito alto, além de ter um custo alto para sua aquisição.

As plantas daninhas que germinam com mais frequência em determinadas áreas também podem mostrar ao produtor quais são as propriedades físicas do seu solo, uma vez que algumas plantas daninhas têm sua germinação favorecida por determinados aspectos físicos apresentados no solo, como a baixa macroporosidade e alta resistência à penetração. Portanto, manejo de solo pode influenciar as propriedades físicas do solo e alterar a dinâmica de plantas daninhas nele presentes.

Além disso, a cultura implantada também gera uma dinâmica diferente para a emergência de plantas daninhas, uma vez que cada cultura tem fatores fitossociológicos diferentes, podendo assim propiciar uma maior quantidade de plantas daninhas ou menor dependendo da cultura implantada.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades físicas do solo em dois manejos: plantio direto e convencional em sistema de cultivo agroecológico; bem como, a dinâmica de plantas daninhas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área está localizada no município de Entre Rios do Oeste-PR, no Centro de Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná e coordenadas geográficas 24° 40’54” S e 54° 17’3” O. O solo é classificado como Nitossolo Vermelho típico de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al*., 2018) de textura muito argilosa.

A área foi dividida em dois talhões, o primeiro talhão é conduzido em sistema de plantio direto orgânico (SPDO) a 5 anos e com rotação de culturas; sendo que a última cultura foi a do trigo. O segundo talhão também é cultivado no SPDO e estava com a cultura de mandioca há 2 anos. Após a colheita da mandioca foi realizado o manejo com grade aradora do solo (SC).

O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso. Os tratamentos foram dois manejos de solo: Sistema de Plantio Direto Orgânico (SPDO) e Sistema Convencional (SC) com grade aradora. Para cada manejo de solo foram definidos 10 pontos de amostragem (repetições). Nestes pontos, fez-se o levantamento fitossociológico das plantas daninhas nos primeiros estádios de desenvolvimento do milho e as coletas de solo para a análises das propriedades físicas do solo após o cultivo do milho.

As coletas para as análises físicas foram feitas pelo método do anel volumétrico de acordo com a metodologia de Teixeira *et al*. (2017). O teste de resistência do solo à penetração (RP) foi realizado com auxílio do penetrômetro de bancada. A umidade do solo no momento da avaliação estava na capacidade de campo.

O levantamento fitossociológico das plantas daninhas foi realizado pelo método do quadrado inventário proposto por Braun-Blanquet (1979), o qual possui uma área conhecida de 0,25 m^2. O quadrado foi lançado nos mesmos pontos onde foram feitas as amostragens da análise física, sendo que essas foram feitas durante 5 semanas nos períodos iniciais da cultura do milho, ao ser jogado o quadrado foi realizada a identificação e contagem das plantas daninhas presentes na área.

Os dados para análise das propriedades físicas do solo foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade de erro utilizando programa estatístico de Ferreira (2000). Constatado efeito significativo foi realizade teste Tuckey (5% de erro). Para os dados fitossociológico foram elaboradas tabelas e não foi realizado análise estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A macroporosidade obtida foi de 0,0589 $m^3\ m^{-3}$ para o SPDO e 0,0538 % para o SC. De acordo com REYNOLDS *et al*., (2008), considera-se como intervalo ótimo para solos de textura a argilosa, presença de macroporos com volume entre 0,05 $m^3\ m^{-3}$ e 0,10 $m^3\ m^{-3}$; no entanto, os valores encontrados estão muito próximos do limite crítico; ou seja, demonstra que a área está compactada.

Tabela 1. Médias de macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e resistencia a penetração dos solos (RP) em milho cultivado em sistema de plantio direto orgânico (SPDO) e sistema convencional com grade aradora (SC)

Sistema de cultivo	Macroporosidade ($m^3\ m^{-3}$)	Microporosidade ($m^3\ m^{-3}$)	Poros totais ($m^3\ m^{-3}$)	Densidade ($Mg\ dm^{-3}$)	RP (MPa)
SPDO	$0,0589^{ns}$	$0,4928^{ns}$	$0,5518^{ns}$	$1,27^{ns}$	3,14b
SC	$0,0538^{ns}$	0,4782	0,532	1,22	4,58a

Observa-se que houve diferença significativa entre os manejos de solo para a RP; sendo a média em SPDO de 3,14 MPa e para o SC de 4,58 Mpa. O limite crítico de resistência do solo à compactação é considerado de 2,0 MPa acima deste valor pode ocorrer uma redução no crescimento radicular (Silva, Tormena e Imhoff 2002).

O levantamento fitossociológico permitiu a identificação de 12 espécies e 7 famílias de plantas daninhas no SPDO; já para o SC foram encontradas 15 espécies e 10 famílias de plantas daninhas (Tabela 2).

Tabela 2. Plantas daninhas identificadas por família, espécie, nome comum e tipo de folha, coletadas no SPDO e SC no cultivo de milho nas épocas de primavera verão em sistema agroecológico.

Família	Espécie	Nome vulgar	Tipo Folha
Lamiaceae	*Leonurus sibiricus L.*	Rubim	FL
Poaceae	*Avena sativa.*	Aveia	FE
Rubiaceae	*Richardia brasiliensis*	Poaia Branca	FL
Euphorbiaceae	*Euphorbia heterophylla L*	Amendoin Bravo	FL
Poaceae	*Eleusine indica*	C. pé de galinha	FE
Poaceae	*Cechrus echinatus*	Capim carrapicho	FE
Poaceae	*Triticum aestivum*	Trigo	FE
Poaceae	*Digitaria insularis*	Capim amargoso	FE
Malvaceae	*Sida rhombifolia*	Guanxuma	FL
Brassicaceae	*Raphanus sativus*	Nabo forrageiro	FL
Amaranthaceae	*Amaranthus spp.*	Caruru	FL
Poaceae	*Brachiaria plantaginea*	Capim Marmelada	FE
Sistema convencional			
Família	Espécie	Nome vulgar	Tipo Folha
Amaranthaceae[L]	*Alternanthera tenella*	Apaga fogo	FL
Commelinaceae	*Commelina benghalensis L.*	Trapoeraba	FE
Malvaceae	*Sida rhombifolia*	Guanxuma	FL
Euphorbiaceae	*Euphorbia heterophylla L*	Amendoim bravo	FL
Rubiaceae	*Richardia brasiliensis*	Poaia Branca	FL
Phyllanthaceae	*Phyllanthus tenellus Roxb.*	Quebra pedra	FL
Poaceae	*Digitaria horizontalis,*	Capim milhã	FE
Poaceae	*Digitaria insularis*	Capim amargoso	FE
Euphorbiaceae	*Manihot esculenta Cranz*	Mandioca	FL
Solanaceae	*Solanum americanum L.*	Maria Pretinha	FL
Brassicaceae	*Raphanus sativus*	Nabo forrageiro	FL
Convolvulaceae	*Ipomoea purpurea*	Corda de viola	FL
Poaceae	*Triticum aestivum*	Trigo	FE
Commelinaceae	*Commelina erecta*	Erva de sta. Luzia	FE
Amaranthaceae	*Amaranthus spp.*	Caruru	FL

O SC teve uma maior diversidade de plantas daninhas, sendo a poaia branca *(Richardia brasiliensis*) e trapoeraba (*Commelina benghalensis*) as que tiveram maior número. O SPDO apresentou grande emergência de trigo (*Triticum aestivum*) e de poaia branca pela maior disposição superficial de suas sementes.

CONCLUSÕES

Maior RP foi observada na área onde houve o manejo de solo com grade niveladora. O SPC obteve uma maior diversidade de plantas daninhas, destaque para poaia branca *(Richardia brasiliensis*) e trapoeraba (*Commelina benghalensis*). O SPD apresentou grande emergência de trigo (*Triticum aestivum*) e de poaia branca pela maior disposição superficial de suas sementes.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná/Unioeste e a Itaipu Binacional.

BIBLIOGRAFIA

BRAUN-BLANQUET, J. **Fitossociologia:** bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madri: H. Blume, 1979. 820 p

COSTA, N. V. *et al*. Métodos de controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos: breve revisão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 25-44, 2018.

FERREIRA, D.F. (2000) **Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variancia) para Windows versão 4.0.** Proceedings of the 45th Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, São Carlos-SP, 2000, 255-258.

GANTOLI, G.; AYALA, V. R.; GERHARS, R. **Determination of the critical period for weed control in corn**. Weed Technology, Lawrence, v. 27, p. 63–71, 2013.

REGANOLD, J. P.; WACHTER, J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. **Nature plants**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2016.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. *In:* MORAES, M. H. *et al*. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5: p.75-88, 2006.

SMITH-SPANGLER, C. *et al*. Are organic foods safer or healthier than conventional alternatives? A systematic review. **Annals of internal medicine**, v. 157, n. 5, p. 348-366, 2012.

TEIXEIRA, P. C. *et al*. **Manual de métodos de análise de solo**. 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EVOLUÇÃO TEMPORAL DE INDICADORES FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA CONSERVACIONISTA COM PLANTAS DE COBERTURA E TERRAÇO

Leandro Rampim[1*], Cristiano Andre Pott[1], Aline Marques Genú[1], Miguel David Fuentes-Guevara[2], Danilo Oliveira de Castro Lima[3]

[1]Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO. [2] Professor do Departamento de Agronomia da UNICENTRO. [3] Doutorando do PPG-Agronomia da UNICENTRO. Email: * lrampim@unicentro.br

RESUMO

A densidade e a porosidade do solo são influenciadas pelo cultivo e manejo, que afetam sua estrutura e a distribuição de ar e água. Este estudo avaliou as mudanças na densidade e porosidade do solo em três sistemas de manejo sob plantio direto ao longo de seis anos. A pesquisa foi conduzida em Guarapuava-PR, com três macroparcelas (1,1 ha cada) para estudo da erosão hídrica, sendo: sem terraço (ST), com boas práticas de manejo (BPM) e com terraço (CT). Amostras indeformadas foram coletadas em 31 pontos por macroparcela, na camada de 0-0,20 m, entre 2019 e 2024, para avaliação dos indicadores físicos do solo. A densidade do solo e porosidade total não variaram entre os sistemas de manejo, enquanto a capacidade de aeração total se manteve superior em BPM. Esse resultado pode estar ligado a adoção de plantas de cobertura outonal que favorecem o estabelecimento de macroporos no solo.

PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo; porosidade do solo; plantio direto; propriedades físicas.

INTRODUÇÃO

A determinação da densidade do solo (Ds) e da porosidade é uma abordagem prática para analisar os impactos ambientais decorrentes do manejo agrícola, além de fornecer indicadores sobre a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Reichert *et al.*, 2022).

No sistema plantio direto (SPD), a ausência de revolvimento do solo associada ao tráfego de máquinas agrícolas pode gerar modificações na estrutura do perfil do solo (Bareta Junior *et al.*, 2021; Rampim *et al.*, 2020). A redução da porosidade, em consequência, pode levar à compactação, aumentando a resistência mecânica do solo e dificultando o crescimento das raízes, o que pode afetar negativamente a produtividade agrícola (Bareta Junior *et al.*, 2021; Blanco-Canqui e Ruis, 2018).

Por outro lado, o SPD favorece o acúmulo de matéria orgânica, principalmente devido à deposição de resíduos vegetais provenientes das plantas de cobertura, o que pode minimizar os efeitos da compactação (Blanco-Canqui, 2024). A adoção de práticas agrícolas que elevam os teores de matéria orgânica, como o cultivo de plantas de cobertura no outono, auxilia na estabilidade dos agregados e na melhoria das propriedades físicas do solo (Pott *et al.*, 2023).

Essa questão é especialmente relevante em regiões como o Centro-Sul do Paraná, onde o SPD pode desempenhar um papel fundamental na redução dos impactos do tráfego de máquinas sobre o desenvolvimento radicular e o potencial produtivo das culturas (Rampim *et al.*, 2020).

Desta forma, este estudo teve como objetivo analisar a densidade e a porosidade do solo em sistema conservacionista com plantas de cobertura e terraço ao longo de seis anos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi implementado em área experimental do distrito de Entre Rios, Guarapuava, Paraná (Figura 1). O solo é classificado como Latossolo Bruno (Santos *et al.*, 2018), de textura muito argilosa (> 730 g kg^{-1}), a altitude de 1070 m. O clima da região é classificado como Cfb (subtropical mesotérmico úmido), conforme classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). A precipitação média do local é de 1.936 mm ao ano.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

A área experimental acumula 35 anos de cultivo em SPD com cultivo de milho e soja no verão, e trigo, cevada e aveia no inverno.

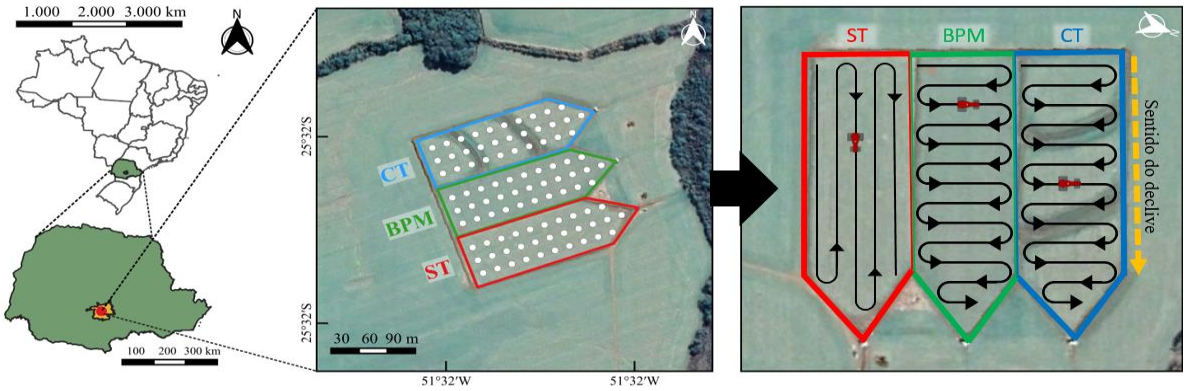


Figura 2. Localização da área experimental e representação dos sistemas conservacionistas de manejo do solo e sentido das operações agrícolas. Disposição das parcelas com sistemas conservacionistas: padrão (ST), boas práticas de manejo (BPM) e com terraço (CT). Distrito de Entre Rios, Guarapuava, Paraná.

A pesquisa vem sendo conduzida desde 2019 em três sistemas de manejo e conservação do solo em macroparcelas com área de 1,10 ha e declive médio de 4,7 %, para estudo da erosão hídrica, sendo: macroparcela cultivada em SPD sem terraço (ST), com operações agrícolas realizadas no sentido do declive; macroparcela com boas práticas de manejo (BPM), conduzida em SPD com cultivo em nível e uso de plantas de cobertura outonal; e macroparcela cultivado sob SPD com terraço (CT) base larga em nível.

Amostras indeformadas de solo foram coletadas em 31 pontos de cada macroparcela na camada de 0 a 0,20 m de profundidade no solo. Foi determinado a Ds, a porosidade total (Pt), a capacidade de aeração total (CAT, obtida pela diferença entre o volume de poros da amostra saturada e o potencial matricial de -10 KPa) e a capacidade de campo (CC), obtida pela diferença entre o volume de poros da amostra em potencial matricial de -10 KPa e do solo seco). As coletas ocorreram entre março e abril de cada ano, período que coincide com a época após a colheita dos cultivos de verão, com milho ou soja.

Os dados foram organizados em planilha eletrônica. Para comparação das médias foi utilizado o intervalo de confiança da média (IC) como critério estatístico. Quando não houve sobreposição entre os limites superior e inferior dos intervalos de confiança das médias ($p<0,05$) foi considerado haver diferença entre os sistemas de conservacionistas (Payton *et al.*, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram semelhança para as macroparcelas com os sistemas conservacionista no período avaliado (Figura 2), exceto pela CAT, mesmo assim, mantiveram-se em condições acima do limite crítico de 0,10 m^3 m^{-3} (Spliethoff *et al.*, 2022). Apesar da variação, os valores de CAT se mantiveram adequados considerando o limite crítico (Spliethoff, 2022).

Os valores da Ds e de Pt demonstram que o manejo empregado na região, macroparcela ST, ou adoção de plantas de cobertura outonal, macroparcela BPM, ou terraço agrícola, macroparcela CT, não diferiram para essas duas propriedades físicas do solo (Figura 2a e b), contudo, mantiveram-se com valores próximos aos do início desta pesquisa, em 2019.

Pode-se creditar esse resultado ao alto teor de matéria orgânica do solo e da rotação de culturas praticada na região a mais de 35 anos tem o SPD estabelecido (Blanco-Canqui, 2024; Pott *et al.*,2023). O

incremento contínuo e variado de material vegetal no sistema produtivo contribui para a manutenção do teor de matéria orgânica no solo (Blanco-Canqui e Ruis, 2018).

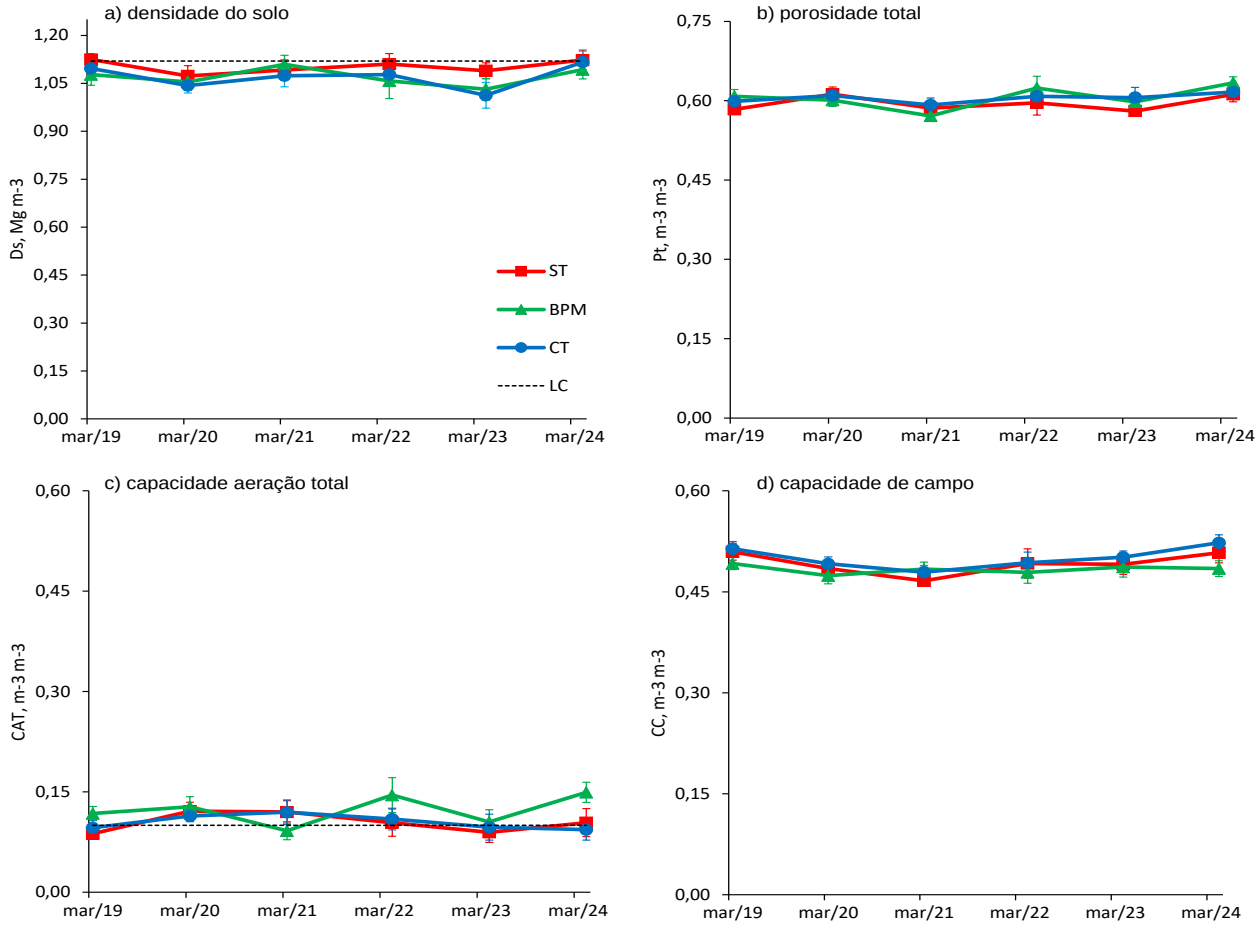


Figura 2. Médias de densidade do solo (Ds) (a), porosidade total (Pt) (b), capacidade aeração total (CAT) (c) e capacidade de campo (CC) (d). Distrito de Entre Rios, Guarapuava, Paraná. Sistemas conservacionistas ST: Sem terraço, BPM: Boas práticas de manejo, CT: Com terraço, LC: Limite crítico de 1,14 Mg m^{-3}, para Ds, e 0,10 m^3 m^{-3}, para CAT (Spliethoff, 2022).

Percebe-se que na macroparcela BPM, apenas para a CAT, há uma variação que difere das outras macroparcelas ao longo do período avaliado, sendo indício de que as plantas de cobertura outonal proporcionariam condições superiores para os indicadores físicos do solo. Essa variação pode estar ligada ao ciclo de rotação de cultura associado às plantas de cobertura outonal, que favorecem o estabelecimento de mais ciclos de umedecimento e secagem do solo. Já que houve atividade vegetativa durante todo o ano na macroparcela BPM. Desse modo, pode ter havido aumento do volume de macroporos como efeito da agregação da estrutura do solo (Bordner *et al.*, 2013).

CONCLUSÕES

Os três sistemas de manejo e conservação analisados apresentam condições semelhantes em relação às propriedades físicas do solo em amostragem pós culturas de verão com milho ou soja.

Os sistemas conservacionistas avaliados demonstram eficiência na manutenção das condições físicas adequadas do solo.

A inclusão de plantas de cobertura outonais no sistema plantio direto proporciona maior capacidade de aeração do solo em comparação com o uso de terraços agrícolas.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Mecanização e Agricultura de Precisão (NMAP), Laboratório de Solos e ao Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) pela realização dos trabalhos de pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3, ao CNPq pela Bolsa de Produtividade ao primeiro autor e a CAPES pela concessão de bolsa de doutorado (Código de financiamento 001).

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

BARETA JUNIOR, E.; SILVA, A. A. P.; SENS, T. M. Z.; COLECHA, K.; RAMPIM, L.; POTT, C. A. Propriedades físicas do solo em níveis variáveis de compactação do solo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e2341028686, 14 fev. 2021.

BLANCO-CANQUI, H. Do cover crop mixtures improve soil physical health more than monocultures? **Plant and Soil**, v. 495, n. 1, p. 99–112, 1 fev. 2024.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p. 164–200, set. 2018.

BODNER, G.; SCHOLL, P.; KAUL, H. P. Fiel quantification of wetting-drying cycles to predict temporal changes of soil pore size distribution. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 1-9, out. 2013.

PAYTON, M. E.; MILLER, A. E.; RAUN, W. R. Testing statistical hypotheses using standard error bars and confidence intervals. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 31, n. 5–6, p. 547–551, mar. 2000.

POTT, C. A.; CONRADO, P. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R. C.; CONRADO, A. M.; OUTEIRO, V. H.; MÜLLER, M. M. Mixture of winter cover crops improves soil physical properties under no-tillage system in a subtropical environment. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 105854, out. 2023.

RAMPIM, L.; POTT, C. A.; VOLANIN, A. J.; SPLIETHOFF, J.; CAMILO, E. L. Influência do manejo mecânico e da adubação verde nos atributos físicos de Latossolo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e173953258, 3 abr. 2020.

REICHERT, J. M.; GUBIANI, P. I.; DOS SANTOS, D. R.; REINERT, D. J.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Soil properties characterization for land-use planning and soil management in watersheds under family farming. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 1, p. 119–128, mar. 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª edição revista e ampliada ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SPLIETHOFF, J.; RAMPIM, L.; POTT, C. A.; VIDIGAL, J. C. B.; NETO, E. G. Development and validation of a hydraulic sampler for collection of undisturbed soil samples. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 68, n. 4, p. 431–446, 21 mar. 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

IMPACTO DO TERRACEAMENTO AGRÍCOLA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Amanda Alves Pacheco[1*], Angelica Lorini[1], Maria Vitoria Sovrani[1], Miguel David Fuentes-Guevara[2], Cristiano Andre Pott [3]

[1] Mestranda do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [2] Pesquisador Pós-Doc do PPGA-Agronomia da UNICENTRO, [3] Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO. * E-mail: amandapacheco700@gmail.com

RESUMO

O terraceamento é uma prática conservacionista mecânica necessária mesmo em áreas sob sistema plantio direto (SPD). A modificação das propriedades físicas do solo com a implantação de terraço em SPD ainda é pouco conhecida. O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto do terraceamento nas propriedades físicas do solo. Estudou-se duas áreas, uma com terraços (CT) base larga em nível e outra área sem terraços (ST), ambas as áreas cultivadas em SDP. Verificou-se que houve efeito nas propriedades físicas no local da construção do camalhão do terraço. O local do camalhão do terraço tem alteração das propriedades física do solo. O camalhão do terraço apresenta menor densidade do solo e maior macroporosidade, o que contribui para aumentar a infiltração de água na área e diminuir o escoamento superficial de água.

PALAVRAS-CHAVE: terraço base larga; atributos físicos do solo; densidade do solo; porosidade do solo.

INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) destaca-se como sistema conservacionista pois tem os princípios do não revolvimento do solo, cobertura permanente de palha e rotação de culturas (Possamai *et al.*, 2022). No entanto, isoladamente esse sistema não garante a sustentabilidade agrícola. Para potencializar a conservação do solo e da água é fundamental adotar práticas conservacionistas complementares (DEUSCHLE *et al*., 2019; FUENTES-LLANILLO *et al*., 2021).

Práticas conservacionistas tem sido amplamente difundidas como estratégia para mitigar a degradação do solo, especialmente em regiões suscetíveis à erosão (SRIVASTAVA *et al*., 2023). Dentre as práticas, o terraceamento destaca-se por diminuir o comprimento de rampa e reduzir a perda de solo e água, promovendo manejo sustentável e preservando a qualidade do solo e água ao longo do tempo (LIU *et al*., 2020). Os terraços atuam como barreiras físicas que diminuem a velocidade do escoamento superficial, aumentando a infiltração de água e reduzindo a erosão hídrica, o que pode favorecer a estabilidade da estrutura do solo (MELIHO *et al*., 2021; MORENO-DE-LAS-HERAS *et al*., 2019; WEI; PAN; YANG, 2021), depositando agregados e partículas de solo no canal do terraço, o que pode modificar a estrutura e a fertilidade do solo. Por outro lado, as áreas em SPD sem terraços são mais vulneráveis ao escoamento superficial, o qual pode contribuir para a erosão hídrica, o que pode acelerar a degradação da qualidade do solo e causar a perda de nutrientes ao longo do tempo (Subhatu *et al.*, 2018).

O entendimento do efeito da construção dos terraços em áreas de SPD e seu impacto nas propriedades físicas do solo são escassos, especialmente em áreas de SPD que não tem utilizado essa prática conservacionista. Pouco se sabe sobre a modificação das propriedades físicas do solo no local de construção do terraço de base larga, especialmente na seção do canal (onde há corte) e do camalhão (onde há aterro). Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o impacto do terraceamento nas propriedades físicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área do projeto NAPI-PROSOLO – Manejo e conservação do solo e da água no estado do Paraná, localizado no distrito de Entre Rios, Guarapuava, PR, coordenadas geográficas

25º31’57’’ S e 51º30’50’’ W, em solo Latossolo Bruno com textura muito argilosa. O clima da região é classificado como Cfb com precipitação anual média de 1936 mm (FUENTES-GUEVARA *et al*., 2024).

Estudou-se duas macroparcelas do projeto NAPI-PROSOLO, uma com terraços (CT) base larga em nível e outra área sem terraços (ST), ambas as áreas cultivadas em SPD desde a década de 1990. A implantação das macroparcelas e a construção dos terraços na macroparcela CT foi realizada em março de 2019. Para estudar o efeito da construção dos terraços. Um segundo fator foi estudado, o transecto, que consistiu de 3 posições do transecto: A, B e C. No sistema CT, A correspondeu ao ponto antes do canal, B representou a área do canal do terraço, que consistiu com o local de retirada de solo, e C é o local onde houve aterro para a construção do camalhão do terraço base larga (Figura 1a). Na macroparcela ST, A, B e C representaram a seção transversal uniforme nas mesmas cotas da área CT, no entanto, não houve nem corte, nem aterro (Figura 1b). Assim, definiu-se um delineamento experimental fatorial, em que fator 1 consistiu de manejo do solo (CT e ST) e o fator 2 consistiu das posições no transecto (A, B e C), todas avaliações foram realizadas com quatro repetições.

A avaliação das propriedades físicas do solo foi avaliada por meio de amostras informadas com anel volumétrico de 100 cm³ nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade. A amostragem foi realizada em junho de 2024, 64 meses após a construção dos terraços em CT.

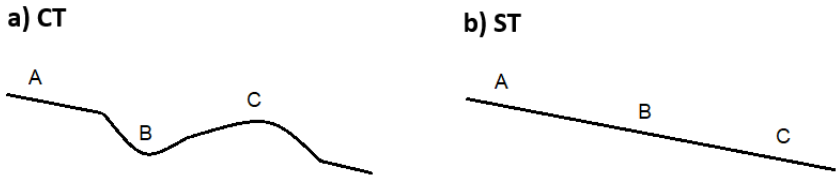


Figura 1. Locais A, B e B do transecto na área com terraço (a) e sem terraço (b). Em CT, A: antes do canal, B: canal (corte), C: camalhão (aterro). Em ST, o transecto A, B e C é uniforme no nível natural do terreno.

Após a coleta, as amostras indeformadas de solo foram saturadas por um período de 48 horas, com uma lâmina de água correspondente a dois terços da altura dos anéis de amostragem. Após atingir a condição de saturação, as amostras foram pesadas e posteriormente submetidas a uma tensão matricial de -6 KPa em mesa de tensão. Após a drenagem, as amostras foram novamente pesadas e, em seguida, seco em estufa a 105°C até atingir massa constante. A massa de solo seco obtida foi dividida pelo volume do cilindro de amostragem, permitindo a determinação da densidade do solo (Ds). A porosidade total (Pt) do solo foi obtida pelo método de saturação (massa de água quando a amostra estava saturada), enquanto a macroporosidade (Ma) foi calculada pela diferença entre o conteúdo de água do solo saturado e o conteúdo de água no potencial matricial de -6 KPa; a microporosidade (Mi) foi determinada como o conteúdo de água do solo retido no potencial matricial de -6 kPa (EMBRAPA, 2017).

Os dados das propriedades físicas do solo foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas por meio de teste de Tukey ($p<0,05$) para cada camada avaliada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das propriedades físicas do solo das áreas CT e ST e suas posições A, B e C podem ser verificados na Tabela 1. Houve efeito de interação entre manejo do solo e as posições do transecto para Ds na camada 0,00-0,10 m, para Ma em todas as camadas, para Mi nas camadas 0,00-0,10 m e 0,20-0,30m, e para Pt somente na camada de 0,10-0,20m. Alteração das propriedades físicas do solo foi afetada pela construção dos terraços base larga mesmo depois de 64 meses da construção dos terraços. Houve menor Ds na posição C do transecto na camada 0,10-0,20 m, equivalente com a parte do camalhão do terraço, local em que é realizado o aterro. Menor Ds em CT, especialmente nas camadas mais profundas, está alinhada

com estudos que mostram que o terraço reduz a compactação do solo. Segundo (PANACHUKI *et al*., 2011), o terraço minimiza a compactação causada pelo tráfego de máquinas agrícolas e melhora a estrutura do solo.

Tabela 1. Propriedades físicas do solo em diferentes posições do transecto (A, B e C) das áreas com (CT) e sem terraço (ST) em sistema plantio direto. Guarapuava – PR.

Propriedade Física	Camada (m)	Manejo de solo	Posição do transecto			Média
			A	B	C	
Ds	0,00 – 0,10	ST	1,14a	1,12a	1,14a	1,13A
		CT	1,09a	1,13a	1,10a	1,11A
	0,10 – 0,20	ST	1,14a	1,13a	1,16a	1,14A
		CT	1,08 a	1,08a	1,02b	1,06B
	0,20 – 0,30	ST	1,06	1,14	1,09	1,10A
		CT	0,99	1,10	0,98	1,02B
Ma	0,00 – 0,10	ST	0,07a	0,08a	0,08a	0,08A
		CT	0,06b	0,09ab	0,12a	0,09A
	0,10 – 0,20	ST	0,14a	0,11a	0,10a	0,12A
		CT	0,12ab	0,10b	0,17a	0,13A
	0,20 – 0,30	ST	0,12a	0,11a	0,11a	0,11A
		CT	0,11b	0,07b	0,19a	0,13A
Mi	0,00 – 0,10	ST	0,52a	0,51a	0,52a	0,51A
		CT	0,54a	0,52ab	0,49b	0,51A
	0,10 – 0,20	ST	0,48a	0,49a	0,49a	0,49A
		CT	0,50a	0,52a	0,49a	0,50A
	0,20 – 0,30	ST	0,49a	0,48a	0,50a	0,49B
		CT	0,53a	0,55a	0,49b	0,52A
Pt	0,00 – 0,10	ST	0,59a	0,59a	0,60a	0,60A
		CT	0,60a	0,61a	0,61a	0,60A
	0,10 – 0,20	ST	0,62a	0,60a	0,59a	0,60B
		CT	0,63ab	0,61b	0,65a	0,63A
	0,20 – 0,30	ST	0,61a	0,59a	0,61a	0,60B
		CT	0,64ab	0,61b	0,68a	0,64A

As médias das propriedades físicas do solo, seguidas pela mesma letra minúscula na linha, indicam que não há diferença estatística entre as posições do transecto (A, B e C). Já as letras maiúsculas na coluna, em cada profundidade, comparam as áreas com (CT) e sem terraço (ST), e também não apresentam diferenças estatísticas segundo o Teste de Tukey ($p<0,05$).

A Ma também foi afetada positivamente na posição C da área CT em todas as camadas avaliadas, evidenciando que o revolvimento para a construção dos terraços gerou maior Ma no local do camalhão. Isso sugere que o terraço está contribuindo para a estrutura do solo menos compactada, favorecendo a infiltração de água e o crescimento radicular. No entanto, observa-se que a área B do transecto, de maneira geral tem maior Ds e menor Ma, local que ocorreu o corte e grande trânsito do trator para a construção do terraço, o que não contribui para ocorrer a infiltração de água. A maior Ma observada em algumas profundidades no CT indica uma melhor infiltração de água e aeração do solo. Carvalho *et al*. (2015) relatam que áreas com terraços apresentam maior volume de Ma devido à menor compactação e à redistribuição da água, evitando processos erosivos. Pequenas variações na Mi sugerem que o terraço pode não ter um impacto tão expressivo nesse atributo, o que também foi apontado por Silva *et al.* (2017)**,** apesar da Mi ser responsável de retenção de água no solo. A maior Pt nas camadas mais profundas no CT reforça que o terraço melhora a estrutura física do solo. Pt foi mais afetada pelo aumento da Ma, a qual é aumentada pelo revolvimento do solo, o que nesse estudo aconteceu devido a construção dos terraços base larga com arado de disco.

CONCLUSÕES

O local do camalhão do terraço tem alteração das propriedades física do solo. O camalhão do terraço apresenta menor densidade do solo e maior macroporosidade, o que contribui para aumentar a infiltração de água na área e diminuir o escoamento superficial de água.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo do Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da Unicentro pela ajuda na condução da pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3, a Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) pela condução das atividades de campo e a CAPES pela concessão de bolsa de mestrado da primeira autora (Código de financiamento 001).

BIBLIOGRAFIA

CARVALHO, R. P. *et al*. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 148–159, 2015.

DEUSCHLE, D. *et al*. Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brazil. **Geoderma**, v. 340, p. 157–163, abr. 2019.

FUENTES-GUEVARA, M. D. *et al*. Mixture of winter cover crops reduces surface runoff and sediment production under no-tillage system for Oxisols. **Land Degradation & Development**, v. 35, n. 6, p. 2145–2156, 15 abr. 2024.

FUENTES-LLANILLO, R. *et al*. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 208, p. 104877, abr. 2021.

LIU, H. *et al*. Soil conservation efficiency assessment based on land use scenarios in the Nile River Basin. **Ecological Indicators**, v. 119, p. 106864, dez. 2020.

MELIHO, M. *et al*. Role of Agricultural Terraces in Flood and Soil Erosion Risks Control in the High Atlas Mountains of Morocco. **Earth**, v. 2, n. 4, p. 746–763, 11 out. 2021.

MORENO-DE-LAS-HERAS, M. *et al*. Hydro-geomorphological consequences of the abandonment of agricultural terraces in the Mediterranean region: Key controlling factors and landscape stability patterns. **Geomorphology**, v. 333, p. 73–91, maio 2019.

PANACHUKI, E. *et al*. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1777–1786, out. 2011.

SRIVASTAVA, S. *et al*. The efficacy of conservation practices in reducing floods and improving water quality. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, p. 1136989, 15 maio 2023.

WEI, W.; PAN, D.; YANG, Y. Effects of terracing measures on water retention of pinus Tabulaeformis forest in the dryland loess hilly region of China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 308–309, p. 108544, out. 2021.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0210104, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PROPRIEDADES FÍSICAS DE LATOSSOLO COM DIFERENTES ADUBAÇÕES

Ana Lhuiza Spindola da Silva[1*], Giovana Costa Terezan[1], Stephanie dos Santos Locatelli[2], Gabriela Machineski da Silva[3], João Tavares Filho[3]

[1]Estudantede graduação, Universidade Estadual de Londrina, [2]Estudantes de doutorado, Universidade Estadual de Londrina, [3]Professor, Universidade Estadual de Londrina.*analhuizaspindila@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em três tipos de adubação: orgânica, mineral e organomineral. Foram realizadas coletas em seis pontos e três profundidades (0-5 m, 5-10 m, 10-20 m), utilizando o método do anel volumétrico para densidade e a mesa de tensão para porosidade. Ao comparar os resultados de novembro de 2023 e 2024, observou-se que a densidade da camada superficial (0-5 m) diminuiu nas áreas com adubação mineral e organomineral, enquanto aumentou na área com adubo orgânico. A macroporosidade e microporosidade aumentaram em todos os sistemas nessa camada, assim como a porosidade total. Nas camadas de 5-10 m e 10-20 m, a adubação orgânica aumentou a densidade e reduziu os valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total, enquanto as outras áreas apresentaram resultados semelhantes. A macroporosidade aumentou nas camadas inferiores.

PALAVRAS-CHAVE: solo; microporosidade; macroporosidade; densidade; adubação.

INTRODUÇÃO

A adubação desempenha um papel fundamental na obtenção de altas produtividades agrícolas e na garantia de alimentos suficientes para atender à crescente demanda alimentar global, devolvendo os nutrientes retirados pelas plantas durante o seu crescimento. Existem diferentes tipos de adubos usados nas atividades agrícolas, como os orgânicos, os minerais e os organominerais (Zonta *et al*., 2021). Os fertilizantes minerais, amplamente usados na agricultura, fornecem nutrientes essenciais, mas seu uso excessivo ou incorreto pode prejudicar os atributos físicos do solo, reduzindo sua qualidade (Gomes *et al*., 2005). Já a adubação orgânica, feita com resíduos agropecuários ou industriais, pode melhorar a porosidade do solo, reduzir a densidade e a compactação (Embrapa, 2020). A adubação organomineral, que combina orgânicos e minerais, promove a agregação das partículas do solo, melhora a aeração, a infiltração de água e a estrutura do solo. A adubação e o manejo do solo impactam diretamente nas propriedades físicas como densidade do solo (Ds), macro e microporosidade, cruciais para o desenvolvimento das plantas e o sucesso da colheita.

Uma adubação bem planejada, combinada com matéria orgânica, melhora a estrutura do solo, reduzindo a Ds e aumentando a porosidade total, o que favorece a infiltração de água, a aeração e o crescimento das raízes (Silva *et al*., 2018; Carvalho *et al*., 2020). Porém, práticas inadequadas, como o uso excessivo de fertilizantes químicos sem reposição orgânica, podem levar à compactação, aumentando a Ds e reduzindo a macroporosidade (Souza *et al*., 2021). A porosidade (PT) do solo é influenciada pela textura, manejo e estrutura, sendo ideal um equilíbrio entre macro e microporos. Uma adubação equilibrada promove a formação de agregados estáveis, mantendo níveis adequados de macro e microporosidade, essenciais para o metabolismo vegetal (Lima *et al*., 2019). Ds e PT equilibradas oferecem um ambiente favorável ao crescimento radicular e à absorção de nutrientes (Oliveira *et al*., 2017). Em contrapartida, solos compactados ou com desequilíbrios na porosidade limitam o desenvolvimento das plantas, reduzindo o rendimento e aumentando a suscetibilidade a doenças e pragas (Ferreira *et al*., 2019). O objetivo do trabalho foi analisar a Ds, macro e microporosidade e PT do solo em três tipos de adubação: orgânica, mineral e organomineral.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido uma área agrícola localizada na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (PR), com latitude entre 23 ° 08 ' 47 '' e 23 ° 55 ' 46 '' sul e longitude entre 50 ° 52 ' 23 '' e 51 ° 19 ' 11 '' oeste, a 503m de altitude. O clima local é do tipo Cfa-subtropical úmido, segundo Köppen, com chuvas em todas as estações (pluviometria anual em torno de 1.260 mm), e o solo é um Latossolo Vermelho eutroférrico (LVe) de textura argilosa (Embrapa, 1999). A área é conduzida sob plantio direto, com sucessão de culturas soja no verão e milho ou trigo no inverno. O experimento foi instalado em 2023, em um total de 9600 m^2, divididos em quatro talhões de 30x80 metros. Em cada talhão é realizado um manejo de adubação: 1. Controle sem adubação; 2. Adubação mineral recomendada para a cultura; 2. Adubação orgânica usando 5 ton/ha Mg ha^{-1} de cama de frango; 3. Adubação organomineral usando 500 kg/ha Mg ha^{-1}. Para o estudo dos atributos físicos do solo, foram realizadas duas coletas em anos agrícolas distintos durante o cultivo da soja: a primeira em novembro de 2023 e a segunda, um ano após os manejos, em novembro de 2024. A coleta do solo foi realizada em 6 pontos selecionados aleatoriamente em cada talhão. Amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos em cada ponto e em três diferentes profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. Os atributos físicos avaliados foram: a densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico, e a porosidade total (PT), macro e microporosidade pelo método da mesa de tensão, segundo a metodologia de SCARAMUZZA *et al* (2003). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos dos atributos físicos avaliados na primeira coleta realizada em 2023 nas três diferentes profundidades estão apresentados na Tabela 1, e da coleta realizada em 2024 na Tabela 2.

Na coleta 1, realizada em 2023, foi observada maior Ds na área controle, sem manejo de adubação, nas três profundidades. Observamos que nas três profundidades (0-5,5-10,10-20) a adubação organica teve maior macroporosidade em relação as outras, já na microporosidade houve um destaque para a adubação mineral nas três profundidades. Quanto à PT, na camada superficial, foi observada maiores valores nas áreas controle e adubação orgânica. Nas demais profundidades, apenas a área sob manejo de adubação organomineral apresentou menor valor que os demais manejos. Após um ano, na coleta 2, a área orgânica apresentou maior Ds que os demais manejos nas três profundidades. Não foi possível observar diferenças na macro e microporosidade na camada superficial (0-5 cm). Diferente da coleta 1, a área orgânica apresentou menor valor na macroporosidade nas demais profundidades (5-10 e 10-20 cm), e na camada mais profunda (10-20 cm), menor PT. Na comparação entre a coleta 1 e 2, observamos que a Ds na camada superficial (0-5 cm) diminuiu nas áreas com adubação mineral, organomineral e controle, mas aumentou na área com adubo orgânico. A macro, microporosidade e PT aumentaram nessa camada em todos os sistemas. Nas demais camadas, a área orgânica apresentou aumento na Ds e redução na macro, microporosidade e PT. Já as outras áreas mantiveram a Ds estável na camada 5-10 cm e reduziram na camada 10-20 cm, com aumento da macroporosidade e PT, enquanto a microporosidade permaneceu semelhante.

Em conjunto a menor densidade e maior porosidade do solo promovem a formação de agregados estáveis, melhorando a estrutura e fertilidade do solo (Carvalho *et al*., 2020). Essas condições também favorecem a atividade microbiana, essencial para a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (Lima *et al*., 2019). Como resultado, contribuem para um sistema radicular mais saudável, maior resistência das plantas a estresses hídricos e aumento da produtividade agrícola. A adubação orgânica requer mineralização dos nutrientes, um processo que leva tempo e depende de vários fatores, podendo resultar em deficiências nutricionais para as plantas, já que sua composição nem sempre é balanceada. Em contraste,

a adubação mineral e organomineral pode ser formulada de forma mais precisa e equilibrada, garantindo uma nutrição adequada e favorecendo o desenvolvimento das culturas (SILVA *et al*., 2013).

Tabela 1. Atributos físicos densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), Microporosidade (Micro) e porosidade total (PT) de um solo sob diferentes manejos de adubação, na coleta 1 em 2023.

		0-5 cm		
Manejos de Adubação	**Ds**	**Macro**	**Micro**	**PT**
Orgânica	1,41 bc	0,12 a	0,45 bc	0,60 a
Mineral	1,44 b	0,05 b	0,50 a	0,54 b
Organomineral	1,32 c	0,05 b	0,42 c	0,48 c
Controle	1,55 a	0,12 a	0,48 ab	0,58 ab
CV (%)	3,81	22,55	3,92	4,63
		5 – 10 cm		
Orgânica	1,48 ab	0,15 a	0,43 b	0,59 a
Mineral	1,41 ab	0,09 b	0,50 a	0,57 a
Organomineral	1,37 b	0,04 c	0,44 b	0,45 b
Controle	1,51 a	0,12 ab	0,45 b	0,58 a
CV (%)	3,98	21,15	4,55	5,28
		10 – 20 cm		
Orgânica	1,41 b	0,12 a	0,44 b	0,55 a
Mineral	1,43 b	0,04 b	0,50 a	0,53 a
Organomineral	1,39 b	0,04 b	0,43 b	0,46 b
Controle	1,50 a	0,10 a	0,44 b	0,54 a
CV (%)	2,34	26,03	4,7	5,12

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferenciam pelo teste de Tukey (p≤0,05)

Tabela 2. Atributos físicos densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), Microporosidade (Micro) e porosidade total (PT) de um solo sob diferentes manejos de adubação, na coleta 2 em 2024.

Tipo de Adubação	Ds	Macroporosidade	Microporosidade	PT
		0-5 cm		
Orgânica	1,98 a	0,22 a	0,45 a	0,65 ab
Mineral	1,32 bc	0,16 a	0,43 a	0,63 ab
Organomineral	1,29 c	0,18 a	0,45 a	0,61 b
Controle	1,38 b	0,21 a	0,45 a	0,67 a
CV (%)	2,38	17,7	4,65	3,32
		5 – 10 cm		
Orgânica	2,02 a	0,04 b	0,43 ab	0,55 a
Mineral	1,40 b	0,18 a	0,43 ab	0,60 a
Organomineral	1,37 b	0,15 a	0,41 b	0,56 a
Controle	1,40 b	0,17 a	0,46 a	0,61 a
CV(%)	1,97	27,21	4,16	
		10 – 20 cm		
Orgânica	1,98 a	0,05 c	0,44 a	0,49 b
Mineral	1,39 b	0,18 a	0,44 a	0,59 a
Organomineral	1,45 b	0,11 b	0,44 a	0,56 a
Controle	1,41 b	0,16 a	0,45 a	0,59a
CV (%)	2,66	16,4	4,03	4,44

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferenciam pelo teste de Tukey (p≤0,05)

CONCLUSÕES

Os diferentes manejos de adubação alteram os atributos físicos do solo, densidade e porosidade. No segundo ano de coleta foi possível concluir um aumento na densidade com a adubação orgânica, na porosidade total ocorreu uma diminuição na adubação organomineral e um aumento no mineral, já na densidade teve um aumento na adubação orgânica e uma diminuição no mineral e organomineral após um ano de coleta. Esses resultados destacam a importância de monitoramento de áreas usando novas tecnologias, como a integração de adubos orgânicos e minerais, para garantir a melhoria contínua das propriedades físicas do solo, o desenvolvimento adequado das plantas e o sucesso das colheitas a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Estadual De Londrina, ao laboratório de solos da Universidade Estadual De Londrina e a CAPES pela bolsa de iniciação cientifica.

BIBLIOGRAFIA

LIMA, R. P. *et al*. Dinâmica da porosidade do solo sob diferentes sistemas de manejo e adubação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 4, p. 412-420, 2018.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise Física do Solo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

JOÃO TAVARES FILHO. **Física e conservação do solo e água**. [s.l.] SciELO - EDUEL, 2016.

BRONICK, C. J., & LAL, R. (2005). Soil structure and management: a review. **Geoderma**, 124(1-2), 3-22.

EMBRAPA. **Adubação e Calagem: Sistema Orgânico de Produção de Manga**. 2020. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1130618/1/Adubacao-e-Calagem.-Sistema-Organico-de-Producao-de-Manga-2020.pdf.

CARVALHO, J. L. N. *et al*. **Impacto do manejo do solo e da adubação na qualidade física do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 44, 2020.

FERREIRA, M. M. *et al*. **Compactação do solo e seus efeitos no crescimento das plantas**. Revista Agro@mbiente, Boa Vista, v. 13, 2019.

LIMA, R. P. *et al*. **Influência da matéria orgânica na porosidade e agregação do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 54, 2019.

OLIVEIRA, G. C. *et al*. **Propriedades físicas do solo e produtividade agrícola**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 47, 2017.

SILVA, A. P. *et al*. **Densidade do solo e porosidade em sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 22, 2018.

SOUZA, E. D. *et al*. **Efeitos da adubação na estrutura e qualidade física do solo**. Revista Ceres, Viçosa, v. 68, 2021.

SILVA, D. A. *et al*. **Efeitos da adubação orgânica na qualidade do solo e na produtividade das culturas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 123-134, 2013.

ZONTA, E.; STAFANATO, J. B.; PEREIRA, M. G. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. *In:* BORGES, A. L. (ed.). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Cap. 14. p.263 -303.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA CEBOLA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO

Maria Vitoria Sovrani[1*], Sofia Kerniski Hupalo[2], Angelica Lorini[1], Flavia Cristina Diniz Panizzon[3], Cristiano Andre Pott[4]

[1] Mestranda do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [2] Estudante de graduação da UNICENTRO, [3] Pesquisadora da FAPA, [4] Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO. * E-mail: mariavsovrani@gmail.com

RESUMO

A cultura da cebola (*Allium cepa* L.) é destaque entre as culturas hortícolas produzidas no Brasil devido a sua importância econômica e social. Devido a sua morfologia, ela demanda um intenso preparo de solo para o bom desenvolvimento de seus bulbos, acarretando problemas de degradação do solo e erosão. Uma alternativa para minimizar esses efeitos é o preparo mínimo do solo. O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência do preparo mínimo do solo no cultivo de cebola em relação ao preparo convencional verificar os efeitos nas propriedades físicas do solo e na produtividade da cebola. Densidade do solo e macroporosidade foram menos afetas no preparo mínimo do que no preparo convencional. Apesar de ter menor impacto nas propriedades físicas do solo, o preparo mínimo teve produtividade de cebola menor que o preparo convencional.

PALAVRAS-CHAVE: física do solo; hortifruti; preparo mínimo.

INTRODUÇÃO

O cultivo de hortaliças no Brasil tem crescido ao longo do tempo, pois além da demando de produtos pelo mercado consumidor, é possível obter grande retorno financeiro para os agricultores com o cultivo das culturas da batata, tomate e cebola. Segundo dados do IBGE (2022), 16 estados brasileiros são produtores de cebola, sendo Santa Catarina o líder nacional. O Paraná produziu cerca de 117.210 toneladas de cebola em 2022 e o líder estadual em produção é o município de Guarapuava.

Por ser uma planta que forma bulbos, essa cultura possui algumas exigências em relação ao solo. Para que se desenvolvam na forma desejada, o solo deve estar aerado e revolvido (Loss *et al.*, 2017). O cultivo em preparo convencional (PC) geralmente é utilizado para o cultivo da cebola. No entanto, o PC é conhecido por envolver várias práticas de revolvimento do solo e por aumentar a suscetibilidade do solo a erosão (Fuentes-Llanillo *et al.*, 2021).

O sistema plantio direto (SPD) é um sistema conservacionista consolidado no Brasil, o qual é embasado nas práticas de rotação de culturas, não revolvimento e manutenção permanente da cobertura do solo (Possamai *et al.*, 2022). Além disso, o SPD garante conservação e estabilidade das propriedades físicas do solo (Calegari *et al.*, 2013).

Uma alternativa ao PC do solo é o uso do SPD de hortaliças (SPDH), no qual as práticas se assemelham ao SPD, porém aplicado a culturas hortícolas (Roters *et al.*, 2021). A problemática desse sistema é a necessidade de mão de obra, visto que é realizado o transplante de mudas e não a semeadura direta das sementes no solo, sendo esse um fator limitante em sua adoção.

Em termos gerais, para controlar o impacto do revolvimento do solo no sistema de produção de cebola pode ser realizado rotação de culturas nas áreas e o preparo mínimo do solo, nos quais a cultura é implantada intercalada com outras culturas, realizando um preparo de solo menos intenso e reduzindo o uso de implementos agrícolas e consequentemente reduzindo a desagregação e os riscos de erosão hídrica.

É importante ressaltar a necessidade de encontrar um equilíbrio entre produtividade e os riscos de degradação do solo, sendo possível a aplicação de práticas conservacionistas para reduzir esses riscos (Antoneli *et al.*, 2021). O objetivo desse trabalho foi testar a eficiência do preparo mínimo do solo comparado

ao preparo convencional no cultivo da cebola e o efeito nas propriedades físicas do solo e na produtividade da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), localizada no distrito de Entre Rios, Guarapuava, PR. O clima da região é classificado como Cfb e tem precipitação anual de 1936 mm (Fuentes-Guevara *et al.*, 2024). O solo é um Latossolo Bruno muito argiloso.

A área de estudos está localizada no campo 2 da FAPA, onde iniciou-se os estudos de cultivo de hortifruti em área de sistema plantio direto cultivado desde os anos 1990. Foram avaliados dos sistemas de preparo para o cultivo da cebola: 1) Preparo Mínimo (PM) realizado com o equipamento Terrus, com o qual realizou-se escarificação na profundidade de 0-0,20 m; 2) PC com revolvimento do solo com arado de disco, escarificador e gradagem na profundidade de 0 a 0,40 m, revolvimento esse, comum nos cultivos de cebola da região.

No tratamento cultivares foram semeadas em 12/06/2024 5 cultivares de cebola: Onix, Bola Precoce, Jóia, Alto Vale e Crioula. As parcelas de cada área de cultivo tinham 14 m de comprimento e 1,35 m de largura, cada uma com 4 repetições.

Para determinação das propriedades físicas do solo, amostragens de solo foram realizadas em três épocas: 1) antes do preparo do solo, em área de sistema plantio direto (SPD) estabilizado; 2) após o preparo de solo (após preparo); e 3) após a colheita da cebola (após cebola). Nas 3 épocas, foram coletadas amostras indeformadas com anel volumétrico em 7 trincheiras de cada manejo nas camadas: 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m de profundidade, por meio de amostrador castelinho, conforme descrito em Spliethoff *et al.* (2022). A partir da coleta das amostras indeformadas, foi determinado a densidade do solo e macroporosidade do solo conforme metodologia de Teixeira *et al*. (2017).

A colheita da cebola foi realizada em 12/12/2024. Foi avaliado o diâmetro equatorial dos bulbos e rendimento da cultura. O diâmetro equatorial dos bulbos foi medido com paquímetro digital (Gökçe *et al.*, 2022). O rendimento foi calculado de acordo com a massa de 50 bulbos colhidos em cada parcela utilizando uma balança de precisão. A população de plantas foi determinada e o resultado de produtividade de bulbos de cebola foi convertido para kg m^{-2}.

Os resultados foram analisados seguindo a metodologia de Payton *et al.* (2000), com um intervalo de confiança ($p<0,05$) para comparação de médias. Quando não houver sobreposição dos limites inferior e superior das barras, significa que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo antes do preparo, ou seja, em SPD estável (Figura 1a) apresentava valores maiores, quando comparado com os valores após o PC. Menores valores de densidade do solo no PC foram observados em todas as camadas avaliadas, evidenciando o efeito do preparo nesse sistema. No entanto, o PM não apresentou valores de densidade do solo diferentes do SPD, evidenciando que não houve grande perturbação de solo nesse sistema.

Houve um aumento de macroporosidade após o PC, ocasionado pelo intenso revolvimento e aeração. Assim como na densidade do solo, não houveram diferenças estatísticas entre SPD e PM logo após o preparo, reforçando a semelhança entre os dois sistemas de produção (Figura 1b).

O valor crítico de macroporosidade para um bom desenvolvimento radicular é de 0,10 m^3 m^{-3} (Reichert *et al.*, 2016). Antes do preparo do solo a macroporosidade estava ligeiramente abaixo do limite mínimo reconhecido para o desenvolvimento de raízes, ao contrário de PM e PC que obtiveram valores acima do limite, proporcionando um solo com macroporosidade favorável para o desenvolvimento radicular.

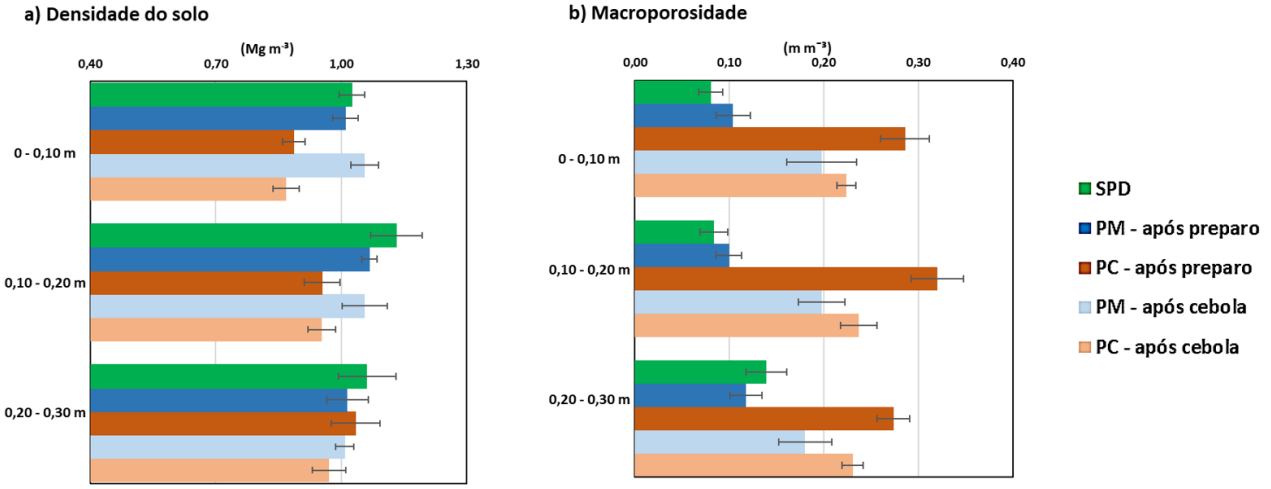


Figura 1. Valores de Densidade do solo (a) e macroporosidade (b) nos diferentes sistemas de manejo de solo nas diferentes épocas e camadas avaliadas. As linhas nas barras representam a diferença mínima significativa pelo intervalo de confiança (p<0,05).

A produtividade da cebola foi maior no PC em comparação com o PM em todas as cultivares avaliadas (Figura 2a). Nenhuma diferença foi observada entre as cultivares.

Em relação ao diâmetro equatorial do bulbo, não foram observadas diferenças estatísticas entre PM e PC nas cultivares Onix, Jóia, Alto Vale e Crioula, demonstrando que o preparo de solo não teve efeito sob essa variável (Figura 2b).

Esses resultados indicam que a cebola necessita um solo com boa aeração, o qual foi obtido no PC que teve baixa densidade do solo e alta macroporosidade até a camada de 0-0,30 m.

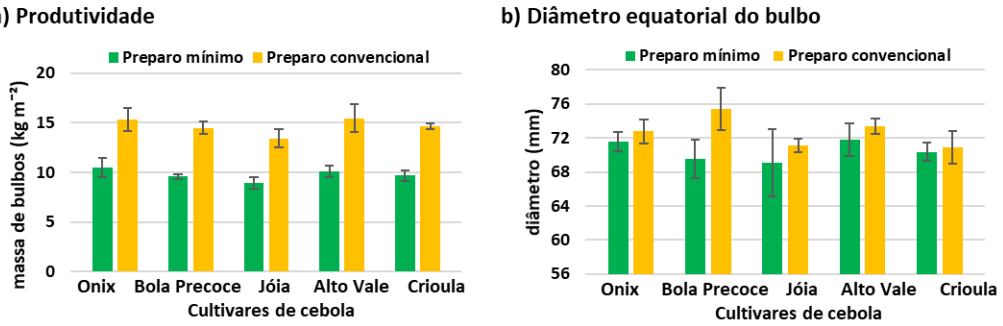


Figura 2. Produtividade da cultura da cebola (a) e diâmetro equatorial do bulbo (b) nas cultivares Onix, Bola Precoce, Jóia, Alto Vale e Crioula nos sistemas de manejo de solo. As linhas nas barras representam a diferença mínima significativa pelo intervalo de confiança (p<0,05).

CONCLUSÕES

O preparo mínimo tem menor revolvimento do solo e menor impacto nas propriedades físicas do solo. Menor densidade do solo e maior macroporosidade foram verificados no preparo convencional. O preparo convencional teve maior produtividade da cebola em todas as cultivares estudadas. O diâmetro equatorial dos bulbos não foi afetado pelo preparo mínimo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) pelo apoio e recursos para a pesquisa. A equipe técnica do Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da UNICENTRO pelo auxílio durante o experimento e à Fundação Araucária pela concessão da bolsa do primeiro autor.

BIBLIOGRAFIA

ANTONELI, V.; PAULA, E. C.; BEDNARZ, J. A.; RODRIGO-COMINO, J.; CERDA, A.; PULIDO, M. Soil and water losses along the cultivation cycle of onion in Irati, Brazil. **CATENA**, v. 204, p. 105439, 2021.

CALEGARI, A.; TOURDONNET, S.; TESSIER, D.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; HARGROVE, W.; GUIMARAES, M. F.; FILHO, J. T. Influence of Soil Management and Crop Rotation on Physical Properties in a Long-Term Experiment in Paraná, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 13, p. 2019–2031, 2013.

FUENTES-GUEVARA, M. D.; SPLIETHOFF, J.; CAMILO, E. L.; NETO, E. G.; OLANIK, C.; PACHECO, A. A.; FERREIRA, R.; RAMPIM, L.; MÜLLER, M. M. L.; POTT, C. A. Mixture of winter cover crops reduces surface runoff and sediment production under no-tillage system for Oxisols. **Land Degradation & Development**, v. 35, n. 6, 2145–2156, 2024.

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; SOARES JUNIOR, D.; MELO, T. R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 208, p. 104877, 2021.

GÖKÇE, Z. N. Ö.; GOEKÇE, A. F.; JUNAID, M. D.; CHAUDHRY, U. K. Morphological, physiological, and biochemical responses of onion (Allium cepa L.) breeding lines to single and combined salt and drought stresses. **Euphytica**, v. 218, n. 3, p. 29, 2022.

LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105–113, 2017.

PAYTON, M.E.; MILLER, A.E.; RAUN, W.R. Testing statistical hypothesis using standard error bars and confidence intervals. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** v. 31, n. 5-6, p. 547-551, 2000.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. E.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F.; Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0210104, 2022.

REICHERT, J. M.; CORCINI, A. L.; AWE, G. A.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; GALLARRETA, C. C. G.; DOCAMPO, R. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 123136, 2016.

ROTERS, D. F.; MAFRA, A. L.; CUNHA, F. F.; MACEDO, R. P.; SILVEIRA, C. P. L.; KRUKER, G. Carbon increase and soil physical improvement in an onion no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 2, p. 1–8, 2021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, Embrapa, 573p. 2017.

SPLIETHOFF, J.; RAMPIM, L.; POTT, C. A.; VIDIGAL, J. C. B.; GARCIA NETO, E. Development and validation of a hydraulic sampler for collection of undisturbed soil samples. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 68, n. 4, p. 431–446, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM ÁREAS COM E SEM TERRAÇOS

Alexandre Hack Porto[1*], Élcio dos Santos Backes [2], Miriam Fernanda Rodrigues[3], André Pellegrini [4], Wander da Silva Ferreira Raboni [5]

[1]Pós-doutorando, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Dois Vizinhos. porto@alunos.utfpr.edu.br [2]Estudante de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, UTFPR, *campus* Dois Vizinhos. [3]Professora do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria. [4]Professor do Curso de Engenharia Florestal, UTFPR, *campus* Dois Vizinhos. 5 Eng. Agr. UTFPR *campus* Dois Vizinhos

RESUMO

As propriedades físicas do solo interferem no desenvolvimento das culturas, independente da disponibilidade hídrica, influenciando também, no fornecimento de água, oxigênio e resistência do solo à penetração. Tais propriedades estão relacionadas à condição estrutural e ao teor de água no solo que pode impactar diretamente na produtividade das culturas. Este estudo avaliou as propriedades físicas como a densidade e porosidade solo, em áreas manejadas com e sem terraços, mensurando o reflexo na produtividade da soja no Sudoeste do Paraná (safras 2019/20 e 2020/21). Detectou-se elevada porosidade total, com predominância de microporos, que são características de Nitossolos argilosos. Em 2020/21, a área com terraços obteve maior produtividade. Como os terraços foram retirados recentemente, ainda não foi possível observar influência dessa prática nas propriedades físicas do solo.

PALAVRAS-CHAVE: terraceamento; erosão hídrica; plantio direto.

INTRODUÇÃO

A qualidade física do solo interfere no desenvolvimento das culturas, além de influenciar no fornecimento de água e oxigênio. As propriedades físicas estão relacionadas à condição estrutural e ao teor de água no solo e pode ter impactos positivos ou negativos em relação à produtividade das culturas. Com isso, a avaliação das práticas de manejo sobre a qualidade do solo precisa levar em conta as premissas que determinam as condições físicas necessárias para o crescimento das plantas, manutenção da produtividade e para reduzir a degradação do ambiente (Blanco-Canqui e Ruis, 2018).

A porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo são algumas das propriedades físicas que influenciam os processos hidrológicos e erosivos, pois alteram a capacidade de infiltração e a retenção de água e o desenvolvimento de raízes (Keller *et al*., 2021). Por isso, sistemas conservacionistas que mantém o solo protegido são essenciais, uma vez que, visam aumento da qualidade física, química e biológica do solo.

O sistema de plantio direto, aliado ao uso de terraceamento, reduz os processos erosivos e podem aumentar a eficiência de produção, redução de custos e melhorar os recursos naturais direcionando o volume de escoamento das águas das chuvas para dentro do perfil do solo com o mínimo de perdas, proporcionando uso mais eficiente da água pelas plantas (Hörbe *et al*., 2021).

Diante disso, objetivou-se estudar as propriedades físicas do solo em área com terraços e área onde os terraços foram retirados, com o propósito de mensurar o reflexo disso na produtividade da cultura de soja na região Sudoeste do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido durante as safras 2019/2020 e 2020/2021 na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV), no município de Dois Vizinhos, localizado na região Sudoeste do estado.

As unidades experimentais consistem em duas áreas, uma com terraços (CT) e outra sem terraços (ST), de 1,923 ha cada uma, localizadas entre as coordenadas geográficas 25°42'3" de latitude Sul e 53°5'57" de longitude Oeste e 510 metros de elevação, ao ponto extremo norte entre elas.

Os terraços foram construídos como forma de controle mecânico do escoamento superficial de água. Na CT, os terraços foram mantidos, enquanto na ST os terraços foram retirados, em maio de 2019. As áreas CT e ST possuem declividade média de 8,7% e comprimento de rampa de 204,5 metros.

As áreas foram submetidas a sucessões com cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Meer.), milho (*Zea mays* L.) e aveia (*Avena sativa* L.), em plantio direto (PD). Todos os tratos culturais e operações agrícolas foram realizadas do mesmo modo em ambas as áreas.

O solo da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho (Santos *et al.*, 2011), com teores médios de argila, silte e areia de 0,70, 0,28 e 0,02 kg kg^{-1}, respectivamente.

O clima na região foi classificado como Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida, com chuvas bem distribuídas nas quatro estações do ano, com um acumulado médio entre 1900 e 2200 mm por ano (Álvares *et al*., 2013).

Uma malha regular de amostragem foi estabelecida, com 32 pontos de amostragem 24 m equidistantes, em cada área, para amostragem de solo e de produtividade da soja.

A amostragem de solo foi realizada em 2019 e 2020. Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas, em cilindros metálicos de 84,7 cm^3 (6,0 cm de diâmetro e 3,0 cm de altura), no centro das camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. A porosidade total (Pt), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e da densidade do solo (Ds), formam avaliados seguindo a metodologia descrita por Teixeira *et al*. (2017).

A produtividade da soja (Prod) foi avaliada em dois anos agrícolas. A safra 2019/2020 foi colhida em 13/02/2020 e a safra 2020/2021, em 18/02/2021. A colheita foi realizada manualmente, sendo colhidas 3 linhas de plantio com 4 metros de comprimento em cada ponto de amostragem de cada área. Posteriormente, o material colhido foi seco e trilhado. Os grãos foram pesados e a umidade de grãos foi medida e corrigida para 13% de umidade.

Os dados das propriedades físicas do solo e de produtividade da soja foram submetidos aos testes de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) e a homoscedasticidade (Bartlett), quando não tiveram distribuição normal ou homogeneidade de variâncias foram submetidos à transformação logarítmica (log(y+1)). As médias dos dados das propriedades físicas do solo e da produtividade da soja nas safras 2019/2020 e 2020/2021 foram comparadas entre a CT e a ST por meio do teste t, ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2019 a Ds e a Pt não diferiram entre a CT e a ST em todas as camadas. A Mic foi significativamente maior na CT, exceto na camada de 0,10-0,20 m, onde diferenças significativas não foram observadas, enquanto a Mac foi significativamente menor na área CT apenas na camada de 0,30-0,40 m.

A Pt e Mac em 2019, de maneira geral, foram inversas à Ds, provavelmente porque solos argilosos possuem alta porosidade, mas predominando a quantidade de microporos, o que favorece a retenção da água e assim, a maior umidade (Figura 1).

Entretanto, Mac foi menor do que o valor adequado para o desenvolvimento das plantas (0,10 m^3 m^{-3}) nas camadas mais profundas do solo, (Figura 1), apontando limite para a aeração do solo, sendo um indicador de degradação devido a relação com a compactação (Stolf *et al.,* 2011).

Em 2020, a Ds, a Pt, a Mac e a Mic não diferiram entre a CT e a ST em todas as camadas avaliadas, porém os parâmetros avaliados de Mac se mantiveram acima de 10% (Figura 1).

Essas menores Mac foram coincidentes às maiores Mic, o que pode dificultar o crescimento radicular das plantas, provavelmente, devido à textura muito argilosa (Figura 1).

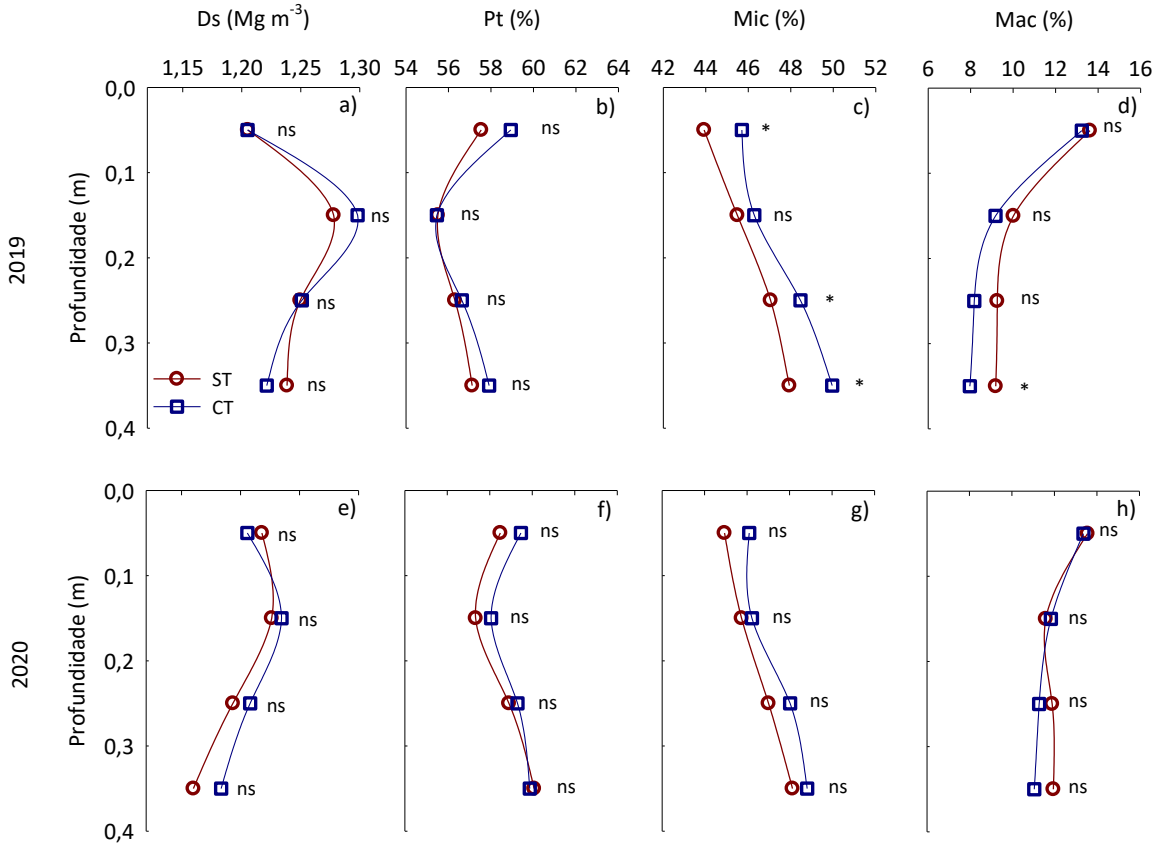


Figura 1. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac) nas áreas sem terraços (ST) e com terraços (CT), em outubro de 2019 e em outubro de 2020, Dois Vizinhos, Paraná.

Os valores de Ds encontrados estão abaixo da faixa crítica média de 1,30 Mg m^{-3} (Reichert; Reinert; Braida, 2003), para solos argilosos, podendo não afetar negativamente a porosidade total, mas podem interferir no desenvolvimento das raízes das culturas. Isso pode ocorrer porque os solos vêm sendo cultivados sob plantio direto por muitos anos consecutivos nesta área de estudo. Com isso, a diminuição das qualidades físicas ao longo do tempo, e se não adotado o uso de práticas conservacionistas, podem reduzir o potencial produtivo dessas culturas (Figura 1).

A Pt total é composta pela macro e a microporosidade, são responsáveis pelo fluxo de ar e movimentação da água no interior do solo, havendo predominância de microporos, isso pode aumentar a retenção da água, não tendo uma boa relação com a drenagem e aeração (Figura 1).

A produtividade da soja, nas duas safras ficou dentro da média da região Sudoeste do Paraná, 3 a 4 Mg ha^{-1} (Tessaro *et al.,* 2024) sem diferenças significativas entre as áreas, para o ano 2019/2020 e significativamente maior na área CT na safra 2020/2021 (Figura 2).

A utilização de terraceamento em plantio direto, além de atuar como estratégia fundamental para o manejo de água da chuva, aumentando a infiltração e evitando que o escoamento superficial cause erosão e contaminação de recursos hídricos, contribuindo no aumento da produtividade de culturas, pois, mitiga os efeitos do déficit hídrico (Hörbe *et al*., 2021), fato que em partes foi verificado no presente trabalho.

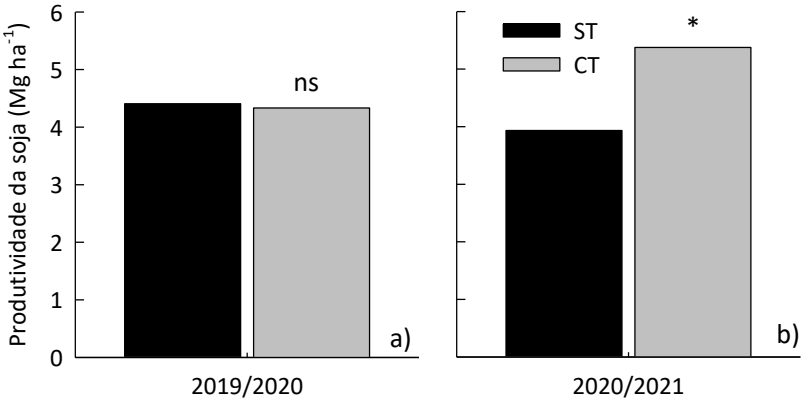


Figura 2. Produtividade de soja nos anos agrícolas de 2019/2020 (a) e 2020/2021 (b), nas áreas sem terraços (ST) e com terraços (CT), Dois Vizinhos, Paraná.

CONCLUSÕES

A densidade do solo ficou abaixo ao ponto crítico de crescimento de raízes para solos muito argilosos.

A produtividade da soja na safra 2019/20 não diferiu entre as áreas ST e CT. Em 2020/21, a área CT teve maior produtividade.

Como os terraços foram removidos recentemente, ainda não é possível observar influência dessa prática nas propriedades físicas do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) -Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio e pelas bolsas de pesquisa e pelos recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C.A. *et al*. Köppen's Climate Classification Map For Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Piracicaba, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p. 164–200, 15 set. 2018**.**

HÖRBE, T. *et al*. Managing runoff in rainfed agriculture under no-till system: potential for improving crop production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. e0210015, 2021.

KELLER, T. *et al*. Soil structure recovery following compaction: Short-term evolution of soil physical properties in a loamy soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 4, p. 1002–1020, 2021.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29–48, 2003.

SANTOS, H. G. DOS *et al*. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. 2011.

STOLF, R. *et al*. Método de estimativa da macroporosidade e da microporosidade por meio do teor de areia e da densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 447–459, 2011.

TEIXEIRA, P. C.; *et al*. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017.

TESSARO, A. A. *et al*. Soybean Yields and Biomass Production of Winter Cover Crops in the Southwest of Parana – Brazil. **Journal of Sustainable Development**, v. 12, n. 5, p. 1–40, 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO SUBMETIDO À DIFERENTES ESTRATÉGIAS CONSERVACIONISTAS

Miriam Fernanda Rodrigues[1*], Gabriel Michalichen[2], Enrike Becker Araujo[3], Mateus Felipe Berra[3], André Pellegrini[4]

[1]Professora pesquisadora, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, RS, *miriamf_rodrigues@yahoo.com.br, [2]Coordenador de Viveiros do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, [3]Estudante do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Dois Vizinhos, PR, [4]Professor do COENF, UTFPR, *campus* Dois Vizinhos, PR.

RESUMO

O sistema plantio direto, o terraceamento e o florestamento são algumas estratégias conservacionistas que podem ser usadas para melhorar a qualidade e a funcionalidade do solo. O objetivo com este estudo foi avaliar a densidade do solo (Ds), da porosidade total, da microporosidade (Mic) e da macroporosidade (Mac) em área sob plantio direto com (CT) e sem terraços (ST e com floresta plantada (F), em Dois Vizinhos-PR. O CT e o ST proporcionaram redução na Mac e aumento na Mic em comparação ao F. A Ds não atingiu 1,45 Mg m^{-3}, considerado crítico ao crescimento de plantas em nenhum sistema. O CT e o ST proporcionaram Mac < 10% na maioria das camadas, considerada restritiva ao adequado desenvolvimento das plantas, enquanto o F proporcionou Mac > 10%, considerada adequada para o crescimento das plantas.

PALAVRAS-CHAVE: plantio direto; terraceamento; florestamento.

INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto, o terraceamento e o florestamento são algumas estratégias conservacionistas que podem ser usadas para melhorar a qualidade e a funcionalidade do solo. O sistema plantio direto, quando conduzido de forma adequada, reduz as perdas de água e de solo na paisagem e em bacias hidrográficas. Esse sistema, devido à diminuição da perturbação do solo e da manutenção de resíduos na superfície, proporciona a estabilização do solo agregado pelo aumento no teor de matéria orgânica do solo (Kihara *et al*., 2012), o que resulta em melhoria da qualidade física do solo e proteção contra a compactação devido ao aumento da macroporosidade e maior conectividade dos poros (Galdos *et al*., 2019) e da funcionalidade do sistema poroso. Essa melhoria da qualidade do solo levou à redução ou à eliminação de práticas complementares de conservação (Caviglione *et al*., 2010) com a retirada total ou parcial dos terraços das áreas de produção sob plantio direto.

Os solos agrícolas cultivados com plantio direto frequentemente possuem maior estado de compactação (Suzuki *et al*., 2013), com redução da macroporosidade do solo, da qualidade física do solo e da funcionalidade do sistema poroso. Com isso, o terraceamento é uma estratégia necessária em áreas sob plantio direto por ser eficiente em reduzir o escoamento superficial e as perdas de solo. Contudo, devido ao alto grau de compactação, outras estratégias são necessárias para melhorar a qualidade física do solo e a funcionalidade do sistema poroso.

A adoção de sistemas com cultivos florestais pode compensar parcialmente os impactos negativos dos cultivos agrícolas (Gama-Rodrigues *et al*., 2008). Esses sistemas aumentam a deposição de serapilheira, a diversidade e a atividade dos elementos biológicos, a atividade das raízes e a ciclagem de nutrientes do solo. Essas condições proporcionam um aumento no teor de matéria orgânica e de formas mais estáveis de carbono no solo e a melhoria da estrutura do solo (Santana *et al*., 2008) e da geometria do espaço poroso, com aumento no volume e na continuidade de poros grandes (macroporos) (Galdos *et al*., 2019) e na funcionalidade do solo. Essas melhorias, além de aumentar o potencial produtivo dos sistemas, contribuem para a redução do escoamento superficial e do risco de inundações frente à eventos climáticos extremos.

O conhecimento dos efeitos proporcionados por esses sistemas e a diferença entre eles sobre as propriedades físico-hídricas do solo são necessários para a tomada de decisão para a melhoria da qualidade

física e da funcionalidade do solo. Assim, o objetivo com este estudo foi avaliar as propriedades físicas do solo sob diferentes estratégias conservacionistas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em três áreas conduzidas com diferentes estratégias conservacionistas, localizadas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV), sudoeste do Paraná, sul do Brasil, entre as coordenadas geográficas 25º 42' de latitude Sul e 53º 06' de longitude O, a 509 m de elevação. O clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), sem estação seca definida, de acordo com a classificação climática de Köppen. A precipitação pluvial anual varia entre 1800 e 2200 mm (Álvarez *et al*., 2013). O solo da área de estudo é classificado como Nitossolo Vermelho (Santos *et al*., 2018), com 20,0 g kg^{-1} de areia, 294,2 g kg^{-1} de silte e 685,8 g kg^{-1} de argila e textura muito argilosa, de 0,00-0,40 m.

As estratégias conservacionistas avaliadas foram: área sob plantio direto com terraços (CT; 1,92 ha), área sob plantio direto onde os terraços foram removidos em maio de 2019 - sem terraços (ST; 1,92 ha) e área com floresta de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), plantada em dezembro de 2019, com terraços (F; 1,50 ha).

Uma malha amostral regular foi estabelecida em cada área, com 24 m equidistantes entre pontos de amostragem, o que totalizou 32 pontos de amostragem distribuídos em 8 linhas na CT e na ST e 12 pontos de amostragem distribuídos em 4 linhas na F. Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em cilindros metálicos nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m para determinação da densidade do solo (Ds), da porosidade total (Pt), da microporosidade (Mic) e da macroporosidade (Mac).

As amostras foram saturadas por 48 horas, pesadas e mantidas em uma coluna de areia por 72 horas a uma tensão de 6 kPa. Em seguida, as amostras foram pesadas e mantidas em estufa a 105 °C até atingirem peso constante. A porosidade total consiste no volume de água retido na saturação. O volume de microporos foi obtido considerando o volume de água retido no solo na tensão de 6 kPa. O volume de macroporos foi obtido pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Teixeira *et al*., 2017).

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade Komolgorov-Smirnov ($p < 0,05$) e de homocedasticidade Fligner-Killeene ($p < 0,05$) e quando esses pressupostos não foram atendidos, os dados foram submetidos à transformação Box-Cox. Após a transformação, as medianas dos dados foram comparadas por meio do teste não paramétrico Kruskal-Wallis (H), ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Ds, a Pt, a Mic e a Mac não diferiram significativamente entre a CT e a ST na maioria das camadas, exceto para a Mic que foi maior na CT em comparação com a ST na camada de 0,20-0,30 m. A Ds foi maior na camada superficial e diminuiu com o aumento na profundidade. A Pt teve comportamento inverso à Ds, principalmente devido ao aumento na Mic com o aumento na profundidade do solo. A Mac teve comportamento similar à Ds, sendo maior na camada superficial e diminuindo com o aumento na profundidade (Figura 1). A Mac, exceto na camada superficial da ST, foi menor do que 10%. A Ds, a Pt, a Mic e a Mac na F, por outro lado, diferiram significativamente da CT e da ST na maioria das camadas, exceto para a Ds de 0,00-0,10 m na CT e de 0,00-0,20 m na ST. A Ds na F teve comportamento inverso ao observado na CT e na ST, sendo menor na camada superficial e aumentou com o aumento na profundidade (Figura 1).

A Mac foi maior e a Mic foi menor na F em comparação à CT e à ST em todas as camadas, não tendo uma tendência de aumento ou redução com o aumento na profundidade do solo. A maior Mac na F, especialmente nas camadas superficiais do solo, foi possivelmente causada pela matéria orgânica acumulada e resíduos orgânicos (Gama-Rodrigues *et al*., 2008; Santana *et al*., 2008), bem como pela atividade biológica e desenvolvimento radicular durante o crescimento da floresta, sem tráfego de máquinas (Baek *et al*., 2022).

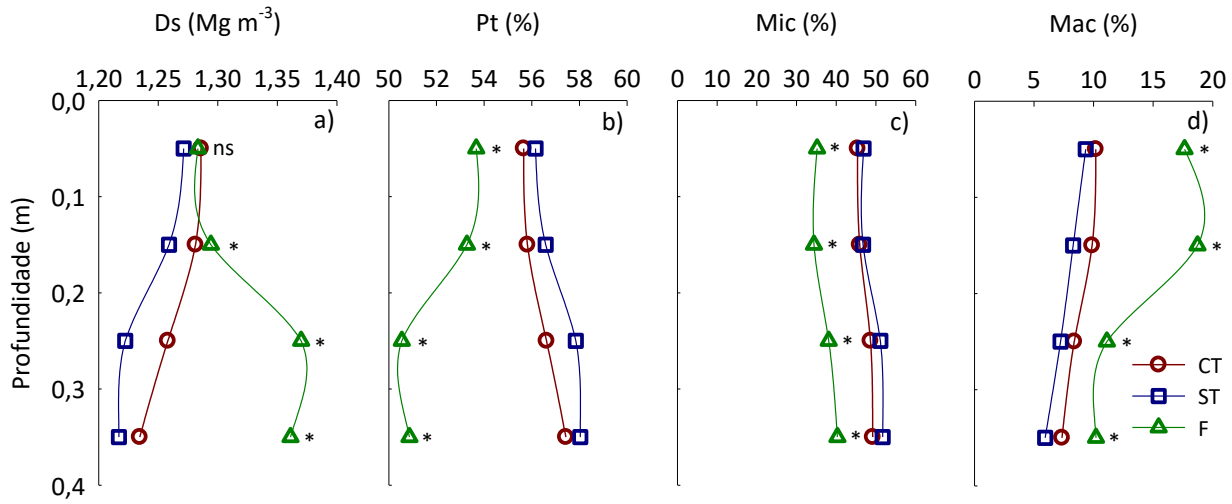


Figura 1. Densidade do solo (Ds) (a), porosidade total (Pt) (b), microporosidade (Mic) (c) e macroporosidade (Mac) (d) em área sob plantio direto com (CT) e sem terraços (ST) e sob floresta, em Dois Vizinhos - PR, Brasil.

A maior Mic e a menor Mac na CT e na ST em comparação com a F podem ser atribuídas ao tráfego nessas áreas para a operações agrícolas de cultivo, uma vez que esse tráfego causa o acúmulo de tensões no solo. Esse comportamento evidencia que o espaço poroso é mais sensível ao tráfego de máquinas do que a densidade do solo. O tráfego de máquinas pode alterar a geometria do espaço poroso, com redução, principalmente, na Mac, em áreas sob plantio direto, mesmo com a manutenção dos resíduos sobre a superfície do solo. O aumento da Mic e a diminuição da Mac ocorreram, possivelmente, em decorrência da conversão de poros maiores em poros menores devido à compactação causada pelo tráfego de máquinas para a operações agrícolas de cultivo. Este tráfego levou a alterações na geometria e distribuição de tamanho dos poros, com diminuição da proporção de poros grandes que têm funções de aeração e drenagem no solo e aumento da proporção de poros pequenos e médios responsáveis pela retenção de água no solo.

A Ds não atingiu, em nenhum dos sistemas, o valor considerado crítico e limitante para o crescimento e desenvolvimento de raízes, de 1,45 Mg m^{-3} para solos de textura argilosa e muito argilosa (> 55% de argila), conforme proposto por Reichert *et al*. (2003). A Mac esteve entre 10% e 25% na F, intervalo considerado adequado para o crescimento das plantas (Stepniewski *et al*. 1994; Drewry *et al*. 2008). Uma Mac maior que 10% mantém níveis adequados de aeração do solo e troca gasosa, especialmente em condições de solo mais úmido, onde a maior parte dos poros responsáveis pela aeração é preenchida com água (Drewry *et al*. 2008). A Mac menor do que 10%, como na CT e na ST, é considerada restritiva ao adequado desenvolvimento das plantas. Uma Mac menor do que 10% fornece fluxo de ar e aeração deficientes, bem como baixa infiltração de água e redistribuição inadequada da água dentro do solo (Stepniewski *et al*. 1994).

CONCLUSÕES

O sistema plantio direto, com o sem terraços, proporciona redução na macroporosidade e aumento na microporosidade do solo em comparação ao sistema com floresta plantada.

A densidade do solo não atingiu valores considerados críticos ao crescimento de plantas em nenhum sistema. Contudo, os sistemas de plantio direto proporcionaram macroporosidade do solo menor do que 10% na maioria das camadas, considerada restritiva ao adequado desenvolvimento das plantas, enquanto área florestal proporcionou macroporosidade do solo maior do que 10%, considerada adequada para o crescimento das plantas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio, bolsas de pesquisa e recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Koppen'S climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

BAEK, K.; LEE, E.; CHOI, H.; CHO, M.; CHOI, Y.; HAN, S. Impact on soil physical properties related to a high mechanization level in the row thinning of a Korean Pine stand. **Land**, v. 11, p. 329, 2022.

CAVIGLIONE, J. H.; FIDALSKI, J.; ARAÚJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C.; FUENTES-LLANILHO, R.; SOUTO, A. R. **Espaçamento entre terraços em plantio direto**. IAPAR, Boletim Técnico, Londrina: IAPAR, 71:59, 2010.

DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing- a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 237-256, 2008.

GALDOS, M. V.; PIRES, L. F.; COOPER, H. V.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A.; MOONEY, S. J. Assessing the long-term effects of zero-tillage on the macroporosity of Brazilian soils using X-ray Computed Tomography. **Geoderma**, v. 337, p. 1126-1135, 2019.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 1489-1499, 2008.

KIHARA, J.; MARTIUS, C.; BATIONO, A.; THUITA, M.; LESUEUR, D.; HERRMANN, L.; AMELUNG, W.; VLEK, P. L. G. Soil aggregation and total diversity of bacteria and fungi in various tillage systems of sub-humid and semi-arid Kenya. **Applied Soil Ecology**, v. 58, p. 12-20, 2012.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. *Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas*. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2723-2733, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e amp. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

STEPNIEWSKI, W.; GLIÑSKI, J.; BALL, B.C. Effects of compaction on soil aeration properties. *In:* SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. (eds.). **Soil Compaction in Crop Production**. Amsterdam, 1994. P. 45-69.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Degree of compactness, soil physical properties and yield of soybean in six soils under no-tillage. **Soil Research**, v. 51, p. 1-11, 2013.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

SULCAMENTO OCASIONAL COM HASTE SULCADORA DA SEMEADORA ALTERA AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Vitor Hugo Outeiro[1*], Leandro Rampim[1], Roberto de França[2], Danilo Oliveira de Castro Lima[3], Cristiano Andre Pott[1]

[1] Professor da UNICENTRO, [2] Professor do Instituto Federal do Paraná. [3] Aluno de doutorado do PPG-Agronomia da UNICENTRO.
*Email: vitorhugoouteiro@yahoo.com.br

RESUMO

A compactação do solo é um fator limitante de produtividade. O revolvimento com haste sulcadora na semeadora pode ser uma alternativa para descompactar o solo. O objetivo do trabalho foi avaliar se o sulcamento ocasional com haste sulcadora contribui para melhorias na densidade e macroporosidade do solo. O experimento seguiu um delineamento em blocos casualizados. Os tratamentos foram: sulcamento ocasional paralelo ao sulco de semeadura (Paralelo), sulcamento ocasional transversal ao sulco de semeadura (Transversal) e a testemunha, sem sulcamento. O tratamento transversal apresentou menor densidade do solo e maior macroporosidade na camada de 0-0,10 m. Comportamento inverso foi observado para a camada de 0,10-0,20 m, com menor densidade e maior macroporosidade na testemunha. A prática do revolvimento ocasional com haste sulcadora na semeadora pode ser utilizada como alternativa para melhorar as condições físicas do solo na camada superficial.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação do solo; física do solo; plantio direto; semeadora.

INTRODUÇÃO

O revolvimento ocasional do solo com haste sulcadora da semeadora pode ser uma alternativa para produtores que não possuem escarificador ou subsolador, mas dispõem de uma semeadora equipada com hastes. O uso de haste sulcadora usada no processo de semeadura pode minimizar os efeitos da compactação em áreas sob sistema plantio direto (SPD), especialmente em solos mais suscetíveis à compactação devido ao tráfego de máquinas agrícolas. Estudos indicam que essa técnica pode melhorar as propriedades físicas do solo, como a densidade e a macroporosidade, influenciando positivamente o crescimento radicular e a infiltração de água (Seki *et al*., 2015).

A compactação em SPD reduz os espaços porosos do solo, dificultando a infiltração de água e o desenvolvimento das raízes (Garcia Neto *et al*., 2023). O uso da haste sulcadora promove uma descompactação localizada, criando condições mais favoráveis para o crescimento das plantas sem comprometer os benefícios da palhada na superfície. Além disso, essa intervenção pode reduzir a resistência mecânica do solo, melhorando a estrutura do solo sem a necessidade de um revolvimento intenso (Costa *et al*., 2015).

A infiltração de água no solo é um fator determinante para o desenvolvimento das culturas e pode ser comprometida pelo excesso de compactação do solo. O revolvimento ocasional com haste sulcadora contribui para aumentar a porosidade total, facilitando o armazenamento e a movimentação da água no perfil do solo. Dessa forma, essa prática auxilia na mitigação dos efeitos negativos da compactação sem eliminar totalmente os princípios conservacionistas do SPD (Ferreira *et al*., 2018).

Dessa maneira, a utilização da haste sulcadora representa uma alternativa viável para produtores que desejam amenizar a compactação do solo sem recorrer a implementos mais robustos, como o escarificador ou o subsolador. A combinação dessa técnica com um manejo adequado da cobertura do solo pode contribuir para a melhoria das propriedades físicas do solo em longo prazo, garantindo maior eficiência no uso da água e melhor desenvolvimento das culturas (Fageria, 2014).

O objetivo do trabalho foi avaliar se o sulcamento ocasional com haste sulcadora da semeadora altera as propriedades físicas do solo em SPD.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra 2017/2018 com cultivo de soja, em área agrícola do Centro Estadual de Educação Profissional Agrícola (CEEPA), no município de Campo Mourão/PR, com coordenadas 23º59'37" S e Longitude 52º21'41" O (Figura 1). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico, com teores médios de 850 g kg^{-1} de argila na camada de 0,0-0,20 m, sendo classificado como textura muito argilosa.

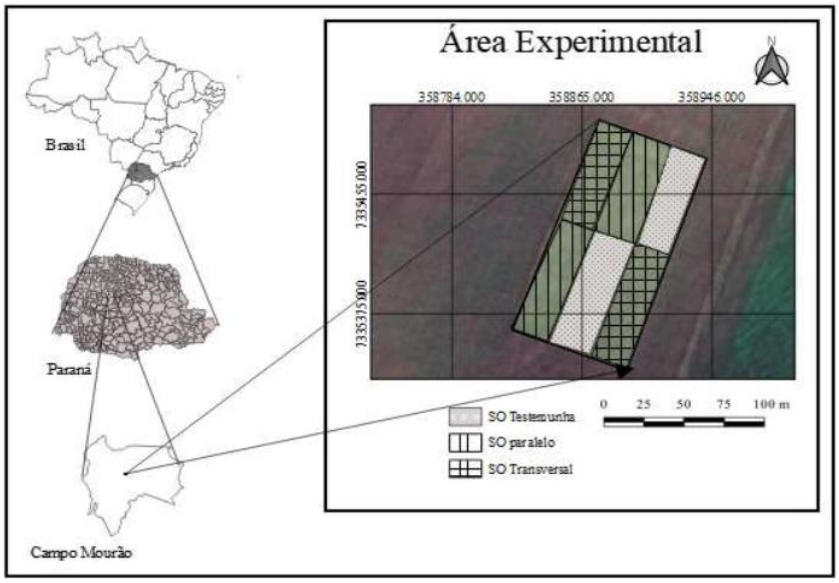


Figura 3. Localização da área experimental e suas coordenadas UTM, Campo Mourão, PR.

O experimento seguiu um delineamento em blocos casualizados com três tratamentos e oito repetições, totalizando 24 parcelas experimentais de 100 m². Os tratamentos foram: sulcamento ocasional paralelo ao sulco de semeadura (Paralelo), sulcamento ocasional transversal ao sulco de semeadura (Transversal) e a testemunha, sem sulcamento ocasional. A operação de sulcamento ocasional foi realizada 30 dias antes da semeadura. No processo de semeadura também foi utilizado haste sulcadora nos três tratamentos.

As propriedades físicas do solo foram realizadas durante o desenvolvimento da soja, no estádio R5, na safra 2017/18, na primeira quinzena de janeiro. A densidade do solo e a macroporosidade do solo foram determinadas por amostras indeformadas coletadas com anéis volumétricos de 100 cm³ (Teixeira *et al*., 2017). As amostras foram retiradas em trincheiras nas camadas de 0,00–0,10 m e 0,10–0,20 m de profundidade, utilizando um amostrador tipo castelinho.

Os dados foram submetidos à ANOVA com teste F a 5% de probabilidade. Quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey a 5%., utilizando o software Sisvar 5.3 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de haste sulcadora da semeadora alterou a densidade do solo e macroporosidade na camada de 0,00-0,10 m (Figura 2a e Figura 2b). A haste sulcadora é uma alternativa eficaz para romper a compactação da camada superficial do solo (Trentin *et al*. 2018). A densidade do solo foi em torno de 4% maior na

testemunha em comparação com o sulcamento na transversal. Comportamento inverso para a densidade foi observado na camada de 0,10-0,20 m de profundidade (Figura 2c). A maior densidade na camada de 0,10-0,20 m nos tratamentos com sulcamento ocasional ocorre em função da redistribuição da pressão exercida pelo trator. Cavalieri *et al*. (2009), ao mensurarem a pressão exercida pelo rodado de um trator com peso aproximado de 4.745 kg por meio de sensores no solo, observaram que, na profundidade de 0,20 m, a pressão atingiu cerca de 400 kPa. Isso indica que grande parte da distribuição de peso ocorre abaixo de 0,10 m de profundidade. A haste sulcadora tem ação limitada à superfície do solo, sua atuação não é suficiente para mitigar os efeitos da compactação causada pela redistribuição do peso do trator em camadas mais profundas.

A macroporosidade do solo no manejo transversal foi em torno de 12% maior do que na testemunha na camada de 0-0,10 m (Figura 2b), o que está de acordo com os menores valores de densidade nesse tratamento transversal (Figura 2a). Trabalhos mostram esses benefícios positivos da haste sulcadora nas propriedades físicas do solo nas camadas superficiais do solo (Sgarbossa *et al*. 2018; Trentin *et al*. 2018). Na camada de 0,10-0,20 m o tratamento paralelo apresentou uma macroporosidade 60% maior do que no tratamento transversal (Figura 2d). Na camada de 0,10-0,20 m o tratamento transversal foi o único que apresentou macroporosidade abaixo do limite de 0,10 m^3 m^{-3} considerado crítico para aeração e desenvolvimento radicular (Bareta Júnior *et al*. 2022).

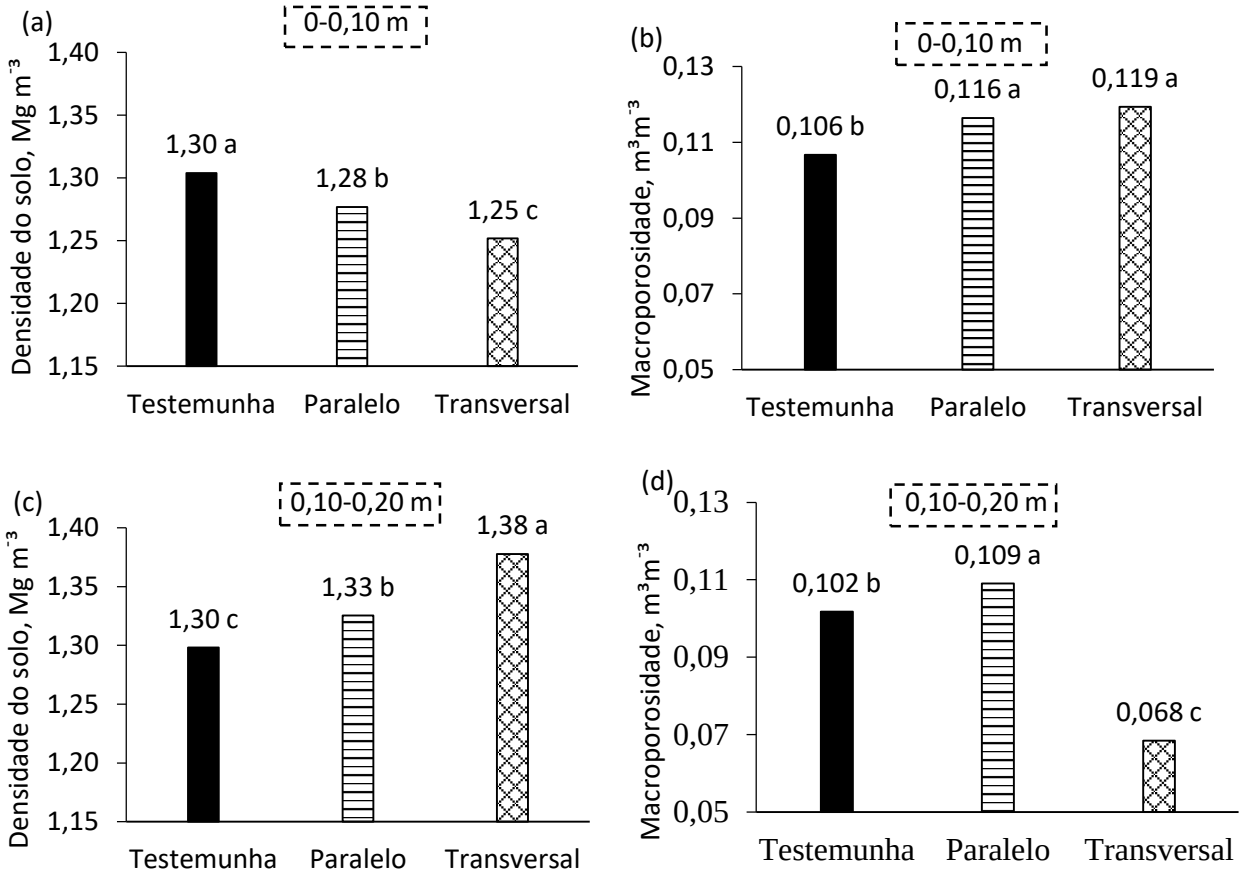


Figura 4. Densidade do solo (a, c) e macroporosidade do solo (b, d) nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m.

CONCLUSÕES

O sulcamento ocasional transversal e paralelo ao sulco de semeadura da soja promoveu efeitos positivos nas propriedades físicas do solo na camada de 0,0-0,10 m, reduzindo a densidade do solo e aumentando a macroporosidade, porém, em camadas inferiores, seu efeito proporciona aumento na densidade do solo e redução na macroporosidade.

A prática do revolvimento ocasional com haste sulcadora na semeadora não é suficiente para mitigar os efeitos da compactação causada pela redistribuição de peso do trator em camadas mais profundas.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Mecanização e Agricultura de Precisão e ao Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da UNICENTRO pela ajuda nos trabalhos de pesquisa. À CAPES, a Fundação Araucária e ao CNPQ pelo auxílio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

BARETA JUNIOR, E.; GENÚ, A. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R. C.; POTT, C. A. Critical limits of soil physical attributes for corn and black oat in a Xanthic Hapludox. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 53, p.e20207533. 2022.

CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, Á. P. D.; ARVIDSSON, J.; TORMENA, C. A. Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um cambissolo háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 477-485, 2009.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L. A.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015.

FAGERIA, N. K. Mineral nutrition of rice. 1. ed. Boca Raton: Taylor e Francis Group, 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GARCIA NETO, E.; Umburanas, R. C.; Outeiro, V. H.; Müller, M. M. L.; Rampim, L., Tormena, C. A.; Pott, C. A. Machinery traffic and cover crop effects on water infiltration rate in a Xanthic Hapludox. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, e20218319, 2023.

SEKI, A. S.; GONÇALVES, F. C.; JASPER, S. P.; SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Efeitos de práticas de escompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 46, n. 3, p. 460-468, 2015.

SGARBOSSA, M.; POSSENTI, J.C.; BAHRY, C.A.; MODOLO, A.J. Soybean yield performance associated with seed size, type of fertilizers and furrow openers. **Australian Journal of Crop Science**. v. 12, n. 6, p. 892–897, 2018.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa, Rio de Janeiro. 2017.

TRENTIN, R. G.; MODOLO, A. J.; VARGAS, T.D.O.; CAMPOS, J.R.R.; ADAMI, P.F.; BAESSO, M.M. Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 40, n.1, p. e35015, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

VARIABILIDADE TEMPORAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO APÓS CULTIVO DE INVERNO EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE SOLO

Danilo Oliveira de Castro Lima[1*], Leandro Rampim[2], Cristiano Andre Pott[2], Marcelo Marques Lopes Müller[2], Vitor Hugo Outeiro[3]

[1] Doutorando do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [2] Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO.[3] Professor do Departamento de Agronomia da UNICENTRO. Email: *danilo.ocl@hotmail.com

RESUMO

A avaliação da densidade do solo (Ds) e da porosidade total (Pt) é essencial para entender os impactos ambientais do manejo agrícola e a sustentabilidade do sistema produtivo. Este estudo analisou as propriedades físicas do solo em três sistemas de manejo sob plantio direto, conduzido em Guarapuava-PR, em macroparcelas de 1,10 ha: cultivo sem terraço (ST), boas práticas de manejo com cultivo em nível e plantas de cobertura outonal (BPM) e cultivo em nível com terraço (CT). Amostras indeformadas foram coletadas em novembro de 2021, 2022 e 2023. Os resultados indicaram compactação do solo na última avaliação. O manejo BPM não melhorou as propriedades físicas do solo após a cultura de inverno. Já o cultivo em nível com terraço manteve a densidade do solo abaixo do nível crítico, evidenciando sua eficiência na conservação da estrutura do solo.

PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo; terraço; plantas de cobertura; plantio direto.

INTRODUÇÃO

Mensurar a densidade do solo (Ds) e a porosidade do solo é uma estratégia prática para avaliar os impactos ambientais promovidos pelo manejo do solo e ao mesmo tempo possibilita avaliar a sustentabilidade do sistema agrícola (Reichert *et al.*, 2022).

O tráfego de máquinas agrícolas em local com ausência de revolvimento do solo em sistema plantio direto (SPD) provoca alterações estruturais no perfil do solo (Bareta Junior *et al.*, 2022; Rampim *et al.*, 2020), comprometendo a produtividade agrícola (Bareta Junior *et al.*, 2022; Blanco-Canqui e Ruis, 2018).

Em Latossolo Bruno, alto teor de matéria orgânica promovido pelo SPD, principalmente pelo incremento de material vegetal residual de plantas de cobertura, pode atenuar esse efeito (Blanco-Canqui, 2024) e a melhoria da qualidade física do solo (Pott *et al.*, 2023).

Isso é relevante para regiões como o Centro-Sul do Paraná, onde o SPD pode ajudar a mitigar os efeitos do tráfego de máquinas sobre o desenvolvimento radicular e o potencial produtivo das culturas (Rampim *et al.*, 2020). Tendo destacado isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de três diferentes sistemas de manejo e conservação do solo nas propriedades físicas do solo após cultivo de inverno ao longo de três anos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi implementado em área experimental do distrito de Entre Rios, Guarapuava, Paraná (Figura 1). O solo é classificado como Latossolo Bruno (Santos *et al.*, 2018), de textura muito argilosa (> 730 g kg^{-1}), a altitude de 1070 m. O clima da região é classificado como Cfb (subtropical mesotérmico úmido), conforme classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). A precipitação média do local é de 1.936 mm ao ano.

A área experimental acumula 35 anos de cultivo em SPD na produção de milho e soja no verão, e trigo, cevada e aveia no inverno.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

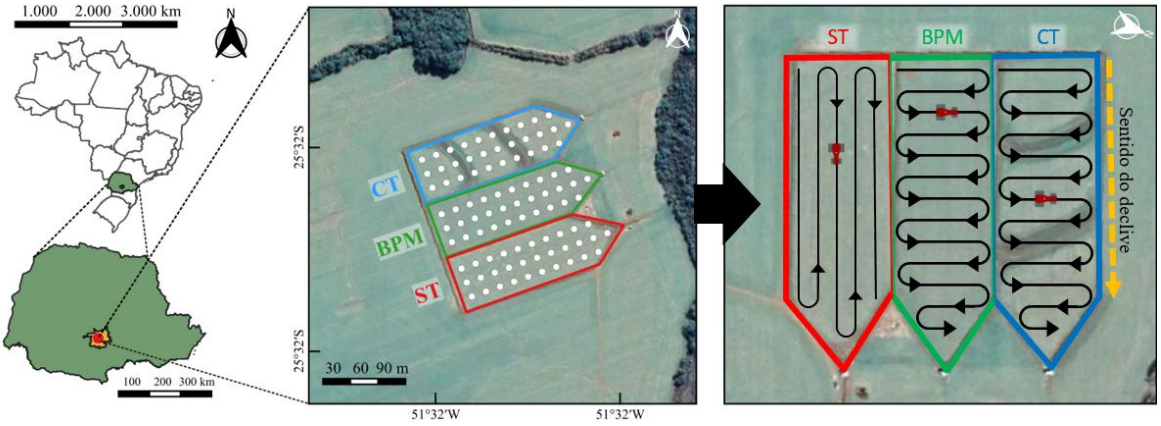


Figura 5. Localização da área experimental e representação dos sistemas conservacionistas de manejo do solo e sentido das operações agrícolas. Disposição das parcelas: padrão (ST), boas práticas de manejo (BPM) e com terraço (CT). Distrito de Entre Rios, Guarapuava, Paraná.

A pesquisa vem sendo conduzida desde 2019 em três sistemas de manejo e conservação do solo em macroparcelas com área de 1,10 ha e declive médio de 4,7 %, para estudo da erosão hídrica, sendo: macroparcela cultivada em SPD sem terraço (ST), com operações agrícolas realizadas no sentido do declive; macroparcela com boas práticas de manejo (BPM), conduzida em SPD com cultivo em nível e uso de plantas de cobertura outonal (mix de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), centeio (*Secale cereale* L.), ervilhaca (*Vicia sativa* L.), ervilhaca-peluda (*Lathyrus hirsutus* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.); e macroparcela cultivado sob SPD com terraço (CT) base larga em nível.

Amostras indeformadas de solo foram coletadas em 31 pontos de cada macroparcela na camada de 0 a 0,20 m de profundidade. Determinou-se a Ds, a macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e a porosidade total (Pt). As coletas ocorreram em novembro/2021, novembro/2022, e novembro/2023, período que coincide com a época após a colheita dos cultivos de inverno. Os dados foram organizados em planilha eletrônica. Para comparação das médias foi utilizado o intervalo de confiança da média (IC) como critério estatístico. Quando não houve sobreposição entre os limites superior e inferior dos intervalos de confiança das médias ($p<0,05$) considerou-se que houve diferença significativa (Payton *et al.*, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram diferenças pontuais para as macroparcelas no período avaliado (Figura 2). Essas diferenças não aparentam estar relacionadas com a adoção de plantas de cobertura outonal.

A Ds e os valores de Pt – constituído pela Ma e Mi – demonstram o impacto do manejo nas propriedades físicas do solo. Para Ds (Figura 2a), ao longo dos anos apenas a macroparcela CT se manteve abaixo do limite crítico de 1,12 Mg m^{-3}, determinado por Spliethoff *et al.* (2022) na mesma área experimental. Tanto ST como BPM apresentaram níveis de Ds que se enquadram como compactação do solo no último ano (Reichert *et al.*, 2016).

O comportamento da Ds e Pt na macroparcela ST apresenta uma tendência de degradação do sistema de cultivo, que pode resultar em compactação do solo, já que nos três anos a Ds ultrapassa o limite crítico, a Pt diminui e a Ma fica abaixo do nível ideal de 0,10 m^3 m^{-3} (Figura 2c). A parcela BPM, mesmo com o emprego de plantas de cobertura outonal, apresentou comportamento similar à ST.

Esse comportamento nas propriedades físicas do solo está ligado ao tempo de permanência das plantas de cobertura na área, neste estudo em média de três meses. Este prazo se demonstra insuficiente para que a cultura de cobertura tenha efeito consistente, além de que, o solo já apresenta alto teor de matéria orgânica, herança do manejo de mais de 35 anos em SPD. Blanco-Canqui (2024), em sua revisão de

literatura, verificou que, em solos com alto teor de matéria orgânica, a curta permanência das plantas de cobertura não provoca alterações nas propriedades físicas do solo.

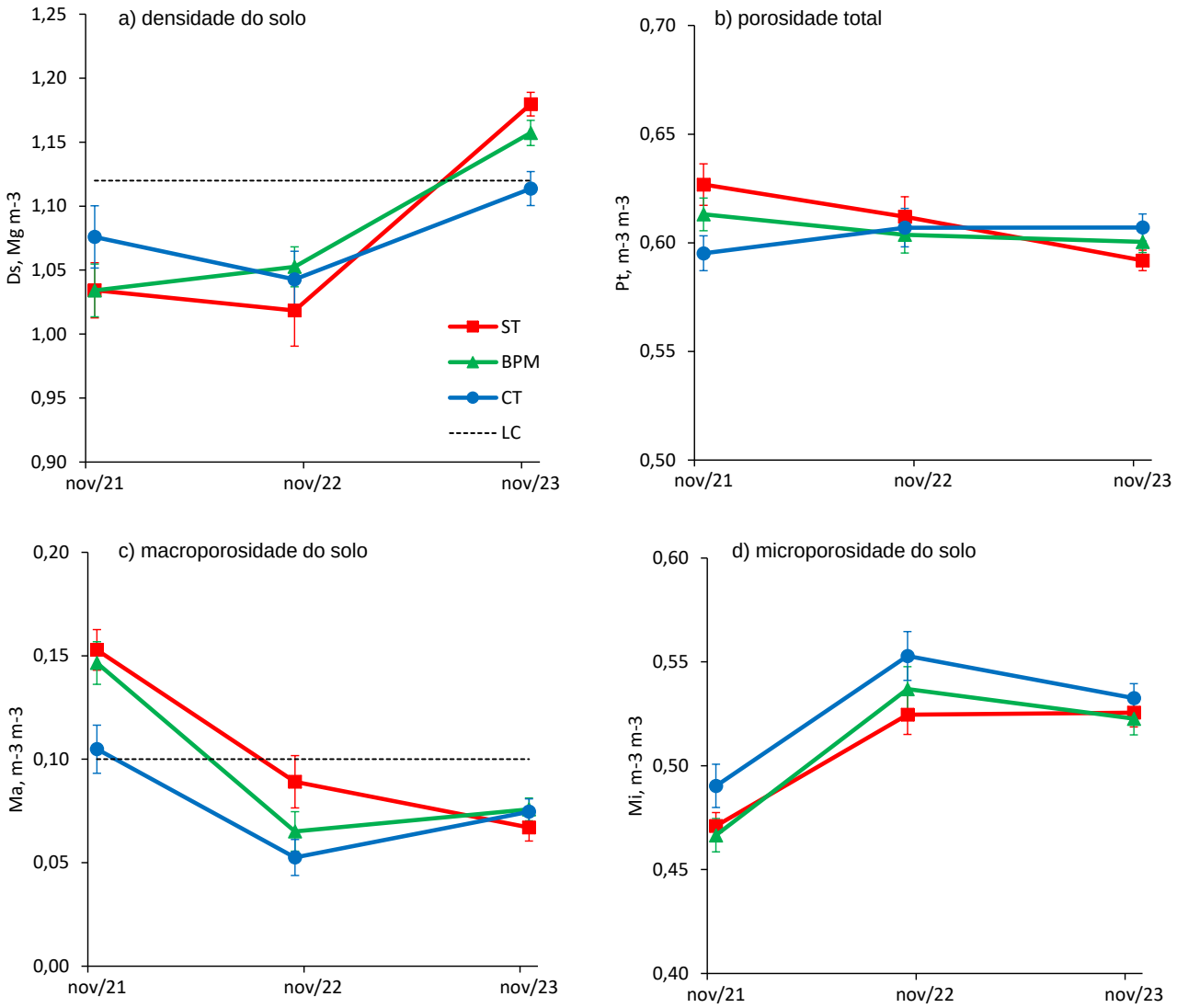


Figura 2. Densidade do solo (a), porosidade total (b), macroporosidade (c) e microporosidade do solo (d). Distrito de Entre Rios, Guarapuava, Paraná. ST: Sem terraço, BPM: Boas práticas de manejo, CT: Com terraço, LC: Limite crítico (Spliethoff, 2022).

A variação entre Ma e Mi ao longo desse período pode estar ligada à precipitação. O ano de 2022 foi chuvoso, tal condição pode ter favorecido a conversão de macroporos em microporos ao longo do período agrícola tendo reflexo também no ano seguinte (Bareta Junior *et al.*, 2022; Reichert *et al.*, 2016).

Vale ressaltar que, para a amostragem realizada em novembro de 2023, houve no mês de outubro um evento de precipitação histórico superando 500 mm de acumulado mensal. Fato que pode ter contribuído para a identificação de Ds acima do nível crítivo no mês subsequente quando executado os tratos culturais com tráfego de máquinas e que precederam a amostragem.

CONCLUSÕES

O manejo adotando plantas de cobertura outonal não resultou em melhora nas propriedades físicas do solo em amostragem pós cultura de inverno.

O manejo com cultivo em nível e com terraço manteve densidade do solo abaixo do nível crítico.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Mecanização e Agricultura de Precisão (NMAP), Laboratório de Solos e ao Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) pela realização dos trabalhos de pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3, ao CNPq pela Bolsa de Produtividade, e a CAPES pela concessão de bolsa de doutorado do primeiro autor (Código de financiamento 001).

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

BARETA JUNIOR, E.; GENÚ, A. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R. C.; POTT, C. A.Critical limits of soil physical attributes for corn and black oat in a Xanthic Hapludox. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 53, p. e20207533, 2022.

BLANCO-CANQUI, H. Do cover crop mixtures improve soil physical health more than monocultures? **Plant and Soil**, v. 495, n. 1, p. 99–112, 1 fev. 2024.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p. 164–200, set. 2018.

PAYTON, M. E.; MILLER, A. E.; RAUN, W. R. Testing statistical hypotheses using standard error bars and confidence intervals. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 31, n. 5–6, p. 547–551, mar. 2000.

POTT, C. A.; CONRADO, P. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R. C.; CONRADO, A. M.; OUTEIRO, V. H.; MÜLLER, M. M. Mixture of winter cover crops improves soil physical properties under no-tillage system in a subtropical environment. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 105854, out. 2023.

RAMPIM, L.; POTT, C. A.; VOLANIN, A. J.; SPLIETHOFF, J.; CAMILO, E. L. Influência do manejo mecânico e da adubação verde nos atributos físicos de Latossolo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e173953258, 3 abr. 2020.

REICHERT, J. M.; DA ROSA, V. T.; VOGELMANN, E. S.; DA ROSA, D. P.; HORN, R. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 123–136, 1 maio 2016.

REICHERT, J. M.; GUBIANI, P. I.; DOS SANTOS, D. R.; REINERT, D. J.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Soil properties characterization for land-use planning and soil management in watersheds under family farming. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 1, p. 119–128, mar. 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª edição revista e ampliada ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SPLIETHOFF, J.; RAMPIM, L.; POTT, C. A.; VIDIGAL, J. C. B.; NETO, E. G. Development and validation of a hydraulic sampler for collection of undisturbed soil samples. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 68, n. 4, p. 431–446, 21 mar. 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO

João Pedro Fraiz Reis[1*], Giovanna Carvalho[1], Leandro Bittencourt de Oliveira[2], Felipe Bonini da Luz[3]
[1]Estudante de graduação, Universidade Federal do Paraná - UFPR. *jpedrofr04@gmail.com; [2]Professor PPG Agronomia UFPR, Universidade Federal do Paraná – UFPR; [3]Professor Departamento de solos e Eng. Agrícola UFPR, Universidade Federal do Paraná - UFPR.

RESUMO

A crescente demanda por uma agricultura mais sustentável estimula pesquisas sobre manejos adequados do solo e sistemas integrados de produção. Este estudo avaliou os efeitos de leguminosas forrageiras em sistemas silvipastoris sobre indicadores físicos de qualidade do solo. O experimento foi conduzido no Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Foram comparados os tratamentos Pecuária-Floresta (PF) e Pecuária-Floresta com leguminosas (PFLeg). Avaliaram-se densidade, porosidade (total, macroporosidade e microporosidade) e qualidade estrutural através da avaliação visual da estrutura do solo (VESS) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Após três anos, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, exceto no VESS na camada de 10-25 cm. As médias dos indicadores ficaram abaixo dos limites críticos, sem restrições ao crescimento radicular. Conclui-se que a inclusão de leguminosas não alterou a qualidade física do solo no curto prazo, mas pode melhorar a médio e longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: manejo de solo, sistemas integrados, saúde do solo.

INTRODUÇÃO

O interesse por estratégias de manejo que promovam a sinergia entre a produção agropecuária e a sustentabilidade ambiental tem crescido significativamente, atraindo a atenção de tomadores de decisão, como políticos, cientistas e produtores rurais (Neto *et al*., 2021). Nesse sentido, os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) que visam integrar cultivos agrícolas, florestais e de produção animal têm sido uma alternativa para a sustentabilidade ambiental, revertendo os processos de degradação do solo, promovendo a saúde do solo e aumentando a eficiência produtiva agrícola (Nwaogu e Cherubin, 2024). Esses sistemas podem auxiliar na redução da necessidade de adição de Nitrogênio via adubação bem como aumentar sua eficiência de uso, quando forrageiras leguminosas são introduzidas nos sistemas usualmente cultivados com espécies gramíneas. Além disso, a introdução de espécies leguminosas aumenta a diversidade ecológica nos sistemas de produção, beneficiando os processos que ocorrem no solo, como por exemplo, a atividade biológica, a ciclagem de nutrientes, o sequestro de carbono e o aumento da resistência do solo a degradação (Oliveira *et al*. 2024). Outro benefício é a promoção do desenvolvimento da estrutura do solo devido ao aumento da diversidade de raízes e diversidade biológica (Vogel *et al*. 2021). Desta maneira, a hipótese deste estudo é que a introdução de espécies forrageiras leguminosas em área cultivada com gramíneas em SIPA melhora a qualidade física do solo. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar indicadores físicos de qualidade do solo em um sistema silvipastoril cultivado com gramíneas e introdução de leguminosas forrageiras anuais hibernais (i.e., trevo branco e ervilhaca) na região subtropical brasileira.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em um protocolo de longa duração, instalado na Fazenda Canguiri da Universidade Federa do Paraná (UFPR), no município de Pinhas, Paraná. A área utilizada é composta de 36 hectares e vem sendo conduzida com o objetivo do estudo da diversificação de sistemas integrados de produção vegetal e animal, visando a geração de modelos agrícolas sustentáveis em área de proteção

ambiental (sem o uso herbicidas, inseticidas e fungicidas). O experimento foi instalado sob delineamento de blocos ao acaso com três repetições, os tratamentos utilizados foram: Pecuária-Floresta (PF) e Pecuária-Floresta com leguminosas (PFLeg). A floresta é composta por árvores de eucaliptos (*Eucalyptus benthamii*) plantados em 2013 e atualmente no espaçamento 28 × 11 m. No ano da instalação foi semeado capim áries (*Megathyrsus maximum* cv. Áries) com 20 kg ha^{-1} de semente em toda área. Desde 2013, durante o outono e o inverno, as áreas vêm sendo semeadas com aveia preta (*Avena strigosa*). Em 2021 foi iniciado a semeadura das leguminosas forrageiras hibernais trevo branco (*Trifolium repens*) e ervilhaca (*Vicia sativa*), sendo assim alocado o tratamento PFLeg.

Amostras indeformadas foram coletadas através de anéis volumétricos com tamanho de 5 cm x 5 cm (~100 cm^3) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, em quatro pontos subamostrais, totalizando 18 amostras (2 tratamentos, 3 camadas, 3 repetições), para avaliação da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), Microporosidade (MiP) e Macroporosidade (MaP). No laboratório, as amostras foram preparadas, saturadas gradualmente por capilaridade e pesadas. Em seguida, foram equilibradas em mesa de tensão num potencial equivalente a -6 kPa. A MiP (m^3 m^{-3}) foi estimada como o conteúdo de água (m^3 m^{-3}) das amostras equilibradas a -6 kPa enquanto que a MaP (m^3 m^{-3}) foi calculada como a diferença entre a PT (1- (DS/2,65)) e a MiP. A DS foi obtida pela relação entre a massa do solo seco em estufa a 105 °C e volume da amostra. As análises foram realizadas de acordo com Teixeira *et al*. (2017). A avaliação visual da estrutura do solo foi realizada em campo, seguindo a metodologia do VESS descrita por Guimarães *et al*. (2011). Em condição de umidade do solo próximo à capacidade de campo, foi aberto uma mini trincheira (30 x 30 x 30 cm) e, com o auxílio de uma pá de corte, foi retirado um bloco de solo indeformado (20 x 25 x 10 cm) de uma das paredes. As amostras foram transferidas para bandejas de plástico, onde manualmente os agregados foram expostos, rompendo-os de acordo com os planos de fraqueza naturais. As camadas com estrutura contrastante foram identificadas e medidas, e posteriormente escores de qualidade estrutural do solo foram atribuídos de acordo com os critérios, descrições e fotos contidas na cartilha do VESS (Figura 2). Os escores foram calculados para a camada total do bloco e para as camadas de 0-10 e 10-25 cm.

Os dados dos diferentes parâmetros físicos avaliados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) separadamente para cada camada de solo para testar o efeito dos tratamentos. Quando significativo pelo teste F (p<0,05), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos indicadores físicos DS, PT, MiP e MaP são apresentados na Figura 1. A DS variou de 1,20 a 1,31 Mg m^{-3}, não diferindo entre os tratamentos em todas as camadas avaliadas (Figura 1a). Da mesma forma, não foram observadas diferenças entre os tratamentos para a porosidade do solo. A PT variou de 0,51 a 0,55 m^3 m^{-3} (Figura 1b), enquanto a MiP e a MaP variaram de 0,37 a 0,41 m^3 m^{-3} (Figura 1c) e de 0,12 a 0,14 m^3 m^{-3} (Figura 1d), respectivamente. Os resultados indicam que, após três anos da introdução de leguminosas forrageiras hibernais, não houve alteração na densidade do solo (DS) e na porosidade da área experimental. Estes resultados podem estar associados com o curto período de introdução das leguminosas, visto que alterações nos indicadores físicos de qualidade do solo são observados comumente no longo prazo (Gamboa *et al*. 2023). Além disso, a taxa de lotação animal ajustada em 557 kg ha^{-1} com pastejo continuo e variação do número de animais durante o ano no experimento (Ruthes *et al*. 2023) não impacta negativamente a estrutura do solo, fazendo com que a DS permaneça abaixo do limite crítico de 1,30 Mg m^{-3} (Reynolds *et al*. 2002), principalmente na primeira camada avaliada, e a MaP acima do limite crítico de 0,10 m^3 m^{-3} (Grable e Siemer, 1968) para o desenvolvimento radicular, não prejudicando a capacidade produtiva do sistema.

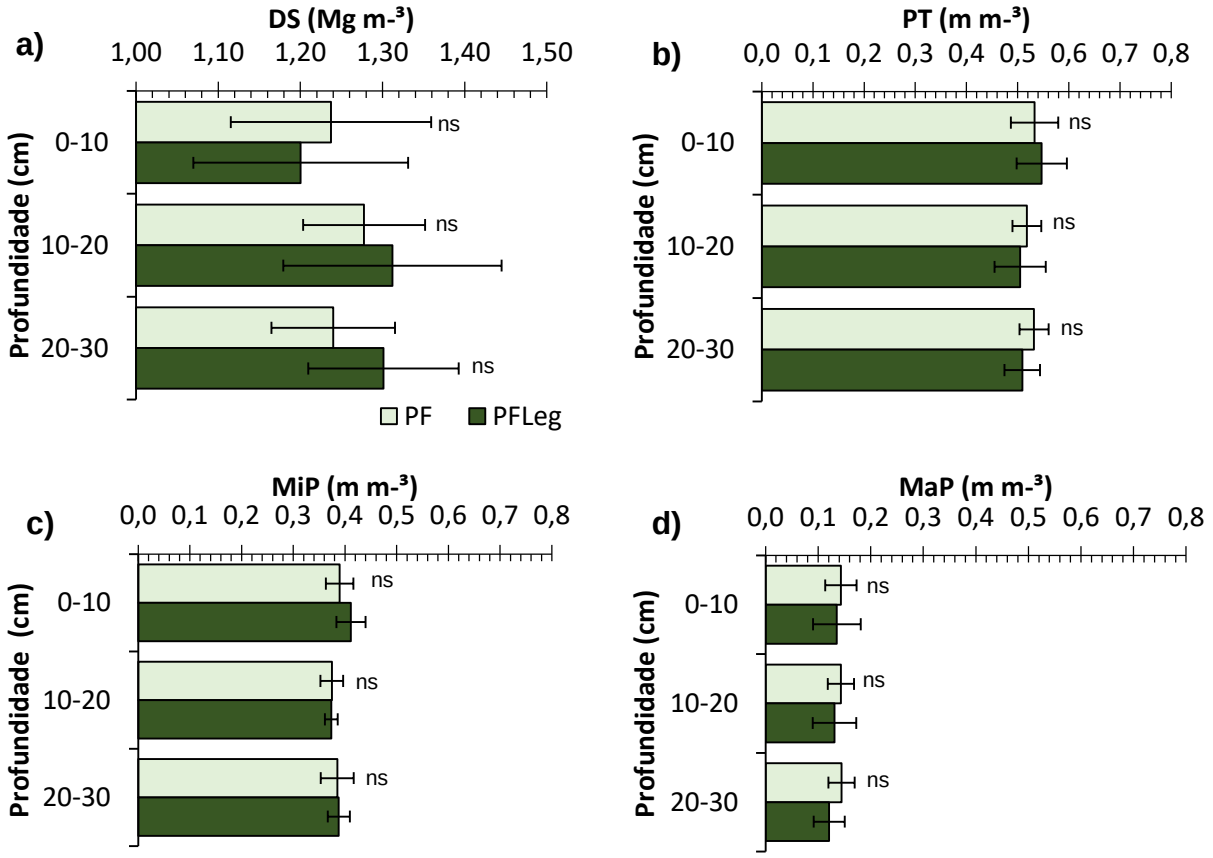
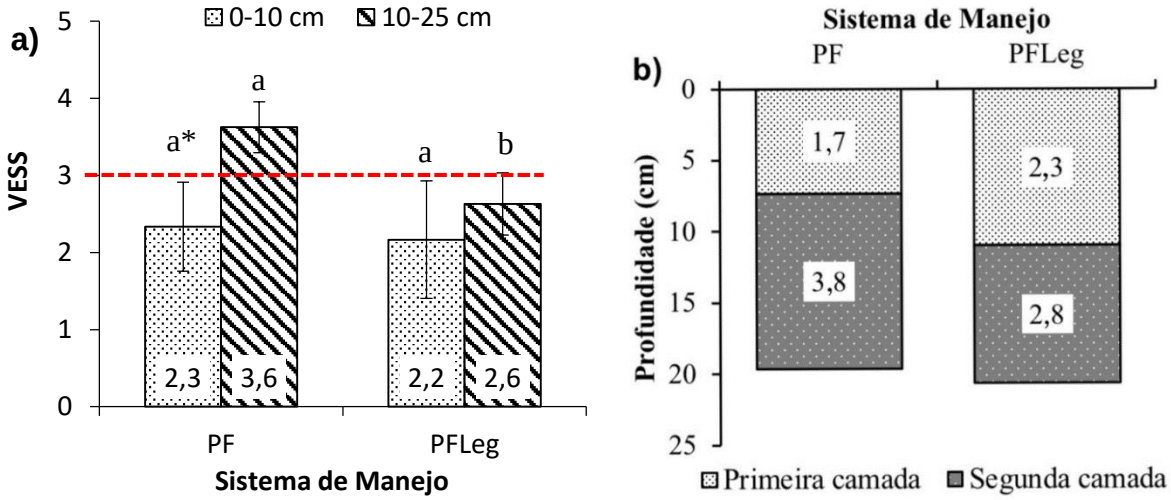


Figura 1. Valores médios dos indicadores físicos densidade do solo (DS) (a), porosidade total (PT) (b), Microporosidade (MiP) (c) e macroporosidade (MaP) (d) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm nos sistemas de manejo Pecuária-Floresta (PF) e Pecuária-Floresta com leguminosas (PFLeg). As barras horizontais indicam o desvio padrão da média (n=9). ^{ns} médias não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Assim como para os indicadores DS, PT, MiP e MaP, a avaliação visual da estrutura do solo também indicou uma boa qualidade da estrutura do solo em ambos os tratamentos na camada de 0-10 cm (Figura 2a). Não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos PF e PFLeg para os escores do VESS nesta camada e as notas ficaram abaixo do valor considerado crítico (i.e., escore igual a 3,0) (Guimarães *et al*. 2011). Por outro lado, o tratamento PF apresentou escore maior (3,6) que o tratamento PFleg (2,6) (Figura 2a), indicando que o tratamento PF apresentou a camada de 10-25 cm com algum grau de compactação. Esse maior escore pode ser visualizado nas Figuras 2b e 2c, onde a maior nota na segunda camada é devido aos agregados maiores, com arestas mais angulosas e menos sinal de presença de atividade biológica em relação ao tratamento PFleg. Contudo, mesmo com o maior grau de compactação observado na camada de 10-25 cm, o escore ponderado para a camada de 0-25 cm não apresentou diferenças entre os tratamentos, sendo 3,0 para o tratamento PF e 2,4 para o tratamento PFLeg (Figura 2c). Esses resultados indicam uma possível melhoria na estrutura do solo em função da introdução de forrageiras leguminosas após três anos de cultivo. Contudo para evitar conclusões precipitadas recomenda-se o monitoramento e a continuidade das avaliações a médio e a longo prazo, para que a hipótese deste estudo possa ser confirmada. Além disso, a avaliação de outros indicadores de qualidade do solo, relacionados ao componente químico e biológico devem ser quantificados de maneira integrada para verificar os efeitos da introdução de espécies forrageiras

leguminosas em sistemas integrados de produção na saúde do solo e na provisão de serviços ecossistêmicos do solo.



c) VESS na camada de 0-25 cm

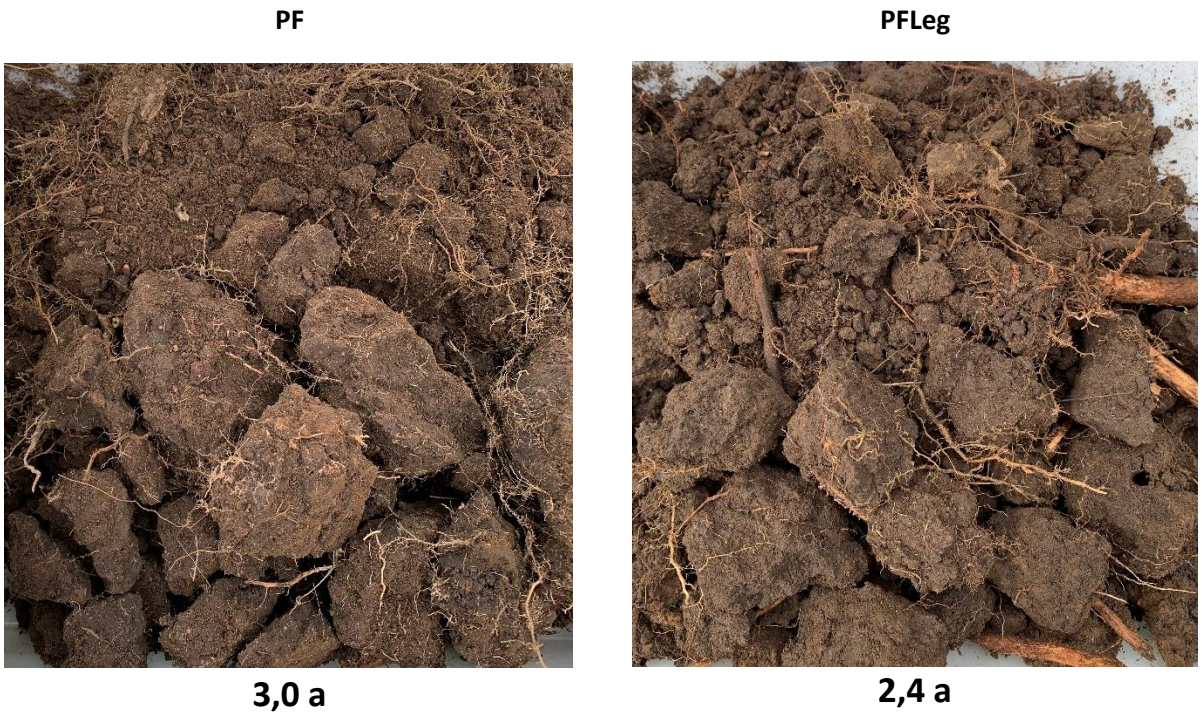


Figura 2. Valores médios da qualidade estrutural do solo (VESS) para diferentes sistemas de manejo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (a), valores da primeira e segunda camada formadas naturalmente (b) e valores para a camada geral de 0-25 cm (c) nos sistemas de manejo Pecuária-Floresta (PF) e Pecuária-Floresta com leguminosas (PFLeg). As barras verticais indicam o desvio padrão da média (n=3) e a linha tracejada vermelha indica o valor do escore crítico para compactação do solo. * Médias seguidas pela mesma letra para cada camada do solo não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

CONCLUSÕES

A introdução de espécies forrageiras leguminosas em área cultivada com gramíneas em sistemas integrados de produção não alterou os indicadores de qualidade física do solo após três anos de introdução das forrageiras. No entanto, a avaliação visual da estrutura do solo indicou que a introdução de forrageiras leguminosas hibernais tem potencial para melhoria da estrutura do solo e que as avaliações devem continuar a médio e a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a Fundação Agrisus pelo financiamento do Projeto: “saúde do solo e produtividade de sistemas silvipastoris com leguminosas forrageiras no subtrópico brasileiro” e da bolsa de iniciação científica do primeiro autor.

BIBLIOGRAFIA

GRABLE, A.R., SIEMER, E.G., 1968. **Effects of Bulk Density, Aggregate Size, and Soil Water Suction on Oxygen Diffusion, Redox Potentials, and Elongation of Corn Roots**. Soil Sci. Soc. Am. J. 32, 180–186. https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x

GUIMARÃES, R.M.L., BALL, B.C., TORMENA, C.A., 2011. **Improvements in the visual evaluation of soil structure. Soil Use Manag**. 27, 395–403. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x

HERNANDEZ GAMBOA, C., COUTINHO FIGUEIREDO, G., MACHADO VEZZANI, F., CARENHATTO FERREIRA, F., BAYER, C., 2023. **Active plant biomass inputs influence pore system functioning in no-till soils**. Geoderma 434. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116477

NWAOGU, C., CHERUBIN, M.R., 2024. **Integrated agricultural systems: The 21st century nature-based solution for resolving the global FEEES challenges, 1st ed, Advances in Agronomy**. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2024.02.003

OLIVEIRA, D.M.S., SANTOS, R.S., CHIZZOTTI, F.H.M., BRETAS, I.L., FRANCO, A.L.C., LIMA, R.P., FREITAS, D.A.F., CHERUBIN, M.R., CERRI, C.E.P., 2024. **Crop, livestock, and forestry integration to reconcile soil health, food production, and climate change mitigation in the Brazilian Cerrado: A review.** Geoderma Reg. 37. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00796

REYNOLDS, W.D., BOWMAN, B.T., DRURY, C.F., TAN, C.S., LU, X., 2002. **Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters**. Geoderma 110, 131–146. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00228-8

RUTHES, B.E.S., KASCHUK, G., DE MORAES, A., LANG, C.R., CRESTANI, C., DE OLIVEIRA, L.B., 2023. **Soil Microbial Biomass, N Nutrition Index, and Yield of Maize Cultivated Under eucalyptus Shade in Integrated crop-livestock-forestry Systems**. Int. J. Plant Prod. 17, 323–335. https://doi.org/10.1007/s42106-023-00242-7

TEIXEIRA, P.C., DONAGEMMA, G.K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W.G., 2017. **Manual de Métodos de Análise de solo.** Brasilia-DF.

VOGEL, H., BALSEIRO-ROMERO, M., KRAVCHENKO, A., OTTEN, W., POT, V., SCHLÜTER, S., WELLER, U., BAVEYE, P.C., 2021. **A holistic perspective on soil architecture is needed as a key to soil functions.** Eur. J. Soil Sci. https://doi.org/10.1111/ejss.13152

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM PASTAGENS COM DIFERENTES NÍVEIS DE INTENSIFICAÇÃO E INTEGRAÇÃO

João Victor Marçal Fernandes[1*], Gustavo Pereira Valani[2], José Ricardo Macedo Pezzopane[2], Alberto Carlos de Campos Bernardi[2], Miguel Cooper[1]

[1] Universidade de São Paulo, [2] Embrapa Pecuária Sudeste, *jv.marcalfernandes@gmail.com.

RESUMO

A intensificação da pecuária visa aumentar a produção animal por meio de práticas como irrigação, ajuste da taxa de lotação e integração com outros componentes do sistema produtivo. Os impactos da intensificação na qualidade física do solo dependem do arranjo e do manejo de cada sistema e, por isso, precisam ser investigados. Este estudo avaliou três funções do solo e um índice de qualidade física do solo em pastagens com diferentes níveis de intensificação e integração, comparando-os a uma área de vegetação nativa. A pesquisa foi conduzida em um Latossolo na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos – SP. Os resultados indicaram que as pastagens apresentaram menor qualidade física do solo em relação à vegetação nativa. No entanto, a adoção da irrigação e a integração da pecuária com árvores nativas reduziram os impactos negativos, promovendo uma melhoria na qualidade física do solo e aproximando seus indicadores aos da vegetação nativa. Esses resultados apontam as pastagens irrigadas e os sistemas integrados de produção agropecuária como estratégias mais sustentáveis de intensificação da pecuária.

PALAVRAS-CHAVE: saúde do solo; integração pecuária-floresta; física do solo; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A intensificação da pecuária é uma estratégia para atender à crescente demanda por proteína animal sem expandir a área cultivada. Esse processo é viabilizado por práticas como adubação adequada, irrigação e aumento da taxa de lotação. Contudo, a intensificação pode acarretar impactos negativos, como compactação do solo, poluição da água e aumento das emissões de gases de efeito estufa (Byrnes *et al*., 2018; Hamza e Anderson, 2005).

Os sistemas integrados de produção agropecuária são alternativas para aumentar a produção animal de forma sustentável. Tais sistemas podem auxiliar na melhoria da qualidade do solo e da forragem, aumento da performance animal, redução da erosão, sequestro de carbono, melhoria da qualidade da água e proteção da biodiversidade (Lemaire *et al*., 2014).

Mudanças na qualidade física do solo em pastagens intensificadas e integradas dependem das características de cada sistema, como taxa de lotação, espécies cultivadas, culturas rotacionadas e tráfego de máquinas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar três funções do solo e um índice de qualidade física do solo em pastagens com diferentes níveis de intensificação e integração em um Latossolo brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos – SP, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Os seguintes sistemas foram avaliados: pastagem em Sequeiro com Moderada taxa de Lotação (SML), pastagem em Sequeiro com Alta taxa de Lotação (SAL), pastagem Irrigada com Alta taxa de Lotação (IAL), sistema de Integração Pecuária-Floresta com árvores nativas (IPF) e Vegetação Nativa (VN). O manejo dos sistemas incluía adubação e pastejo rotacionado. Mais informações sobre os sistemas na Tabela 1.

Tabela 1. Sistemas de manejo do solo estudados na Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos – SP.

Sistema	Ano de Estabelecimento	Taxa de Lotação (UA ha^{-1})	Espécies Cultivadas
SML	1996	3,4	*Urochloa brizantha*, *U. decumbens*
SAL	2002	4,5	*Megathyrsus maximum*
IAL	2002	6,2	*M. maximum*, *Avena bysantina, Lolium multiflorum*
IPF	2008	3,3	*U. decumbens, Anadenanthera colubrina*, *Peltophorum dubium*, *Zeyheria tuberculosa*, *Cariniana estrellensis*, *Piptadenia gonocantha*
VN	-	-	Floresta estacional semidecídua com 146 espécies catalogadas (Silva e Soares, 2003)

SML: pastagem em Sequeiro com Moderada taxa de Lotação; **SAL**: pastagem em Sequeiro com Alta taxa de Lotação; **IAL**: pastagem Irrigada com Alta taxa de Lotação; **IPF**: sistema de Integração Pecuária-Floresta com árvores nativas; **VN**: Vegetação Nativa.

Três funções essenciais do solo foram avaliadas (Karlen *et al*., 2003): ƒ(i) suporte ao desenvolvimento radicular, ƒ(ii) disponibilização de água para as plantas e a fauna edáfica, e ƒ(iii) trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Essas funções foram analisadas com base em indicadores de qualidade do solo na profundidade de 0-30 cm: ƒ(i) – densidade do solo (DS) e resistência à penetração (RP); ƒ(ii) – capacidade de armazenamento de água (CAD) e condutividade hidráulica saturada (Ksat); e ƒ(iii) – capacidade de aeração (CAE) e macroporosidade (MA). Os resultados dos indicadores foram convertidos em escores adimensionais variando de 0 a 1, onde 1 representa a melhor condição possível. Essa conversão foi feita por regressão linear, considerando indicadores do tipo “quanto maior, melhor” (Ksat e MA), “quanto menor, melhor” (DS e RP) e “ponto médio ótimo” (CAD e CAE). A média entre os dois escores de cada função foi calculada e, por fim, um índice de qualidade física do solo foi calculado considerando pesos iguais para as três funções analisadas.

Devido à não-normalidade dos dados, o teste não-paramétrico de Mann e Whitney (1947) foi aplicado para detecção de diferenças significativas (p<0,05) entre os pares de tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de pastagem apresentaram uma redução na qualidade física do solo em comparação com a vegetação nativa (Tabela 2), refletindo os impactos da pecuária sobre funções essenciais do solo. A qualidade física do solo variou na seguinte ordem SAL < SML = IAL = IPF < VN. O sistema de pastagem em sequeiro com alta taxa de lotação (SAL) obteve o menor índice de qualidade física do solo - IQLF (0,42), indicando que a alta taxa de lotação comprometeu o crescimento radicular, a disponibilização de água e a troca gasosa. Esses resultados estão alinhados com estudos que demonstram o efeito negativo do pisoteio do gado sobre a estrutura do solo, especialmente em áreas de pastagem intensiva com menor cobertura vegetal entre as touceiras (Byrnes *et al*., 2018; Drewry *et al*., 2008). Por outro lado, o IQFS na pastagem irrigada com alta taxa de lotação – IAL (0,47) e no sistema de integração pecuária-floresta – IPF (0,48) foram intermediários entre SAL e NV, sugerindo que práticas como irrigação e a presença de árvores nativas contribuíram para a qualidade física do solo.

Tabela 2. Scores para três funções do solo e índice de qualidade física do solo em sistemas de pastagem com diferentes níveis de intensificação e integração.

	f(i)	f(ii)	f(iii)	IQFS
	suporte ao crescimento radicular	disponibilização de água para plantas e fauna edáfica	troca de gases entre solo e atmosfera	índice de qualidade física do solo
SML	0,45 ± 0,01 bc	0,40 ± 0,04 ab	0,53 ± 0,01 c	0,46 ± 0,02 b
SAL	0,46 ± 0,03 b	0,34 ± 0,01 c	0,46 ± 0,01 d	0,42 ± 0,01 c
IAL	0,42 ± 0,02 c	0,45 ± 0,04 ab	0,55 ± 0,02 bc	0,47 ± 0,01 b
IPF	0,45 ± 0,04 bc	0,45 ± 0,01 b	0,55 ± 0,01 b	0,48 ± 0,02 b
VN	0,60 ± 0,14 a	0,48 ± 0,08 ab	0,68 ± 0,04 a	0.59 0,09 a

SML: pastagem em Sequeiro com Moderada taxa de Lotação; **SAL**: pastagem em Sequeiro com Alta taxa de Lotação; **IAL**: pastagem Irrigada com Alta taxa de Lotação; **IPF**: sistema de Integração Pecuária-Floresta com árvores nativas; **VN**: Vegetação Nativa. Letras iguais indicam que não há diferença significativa pelo teste de Mann-Whitney (p<0,05).

Entre os sistemas analisados, o IPF se destacou por apresentar um IQFS semelhante ao da pastagem irrigada (IAL), indicando que a presença de árvores nativas contribuiu para a manutenção da qualidade física do solo. A maior entrada de serrapilheira e a diversidade de sistemas radiculares nesse sistema podem favorecer a formação de macroporos e melhorar a infiltração de água, conforme observado em outros estudos sobre sistemas agroflorestais (Freitas *et al.*, 2020; Noguchi *et al.*, 1999). No entanto, o sombreamento causado pelas árvores pode influenciar negativamente o crescimento da forrageira, afetando a estruturação do solo em longo prazo (Nascimento *et al.*, 2019). Assim, estratégias como o manejo adequado do espaçamento entre árvores e a diversificação das espécies forrageiras podem ser essenciais para equilibrar os benefícios estruturais do solo com a produtividade do pasto.

CONCLUSÕES

A qualidade física do solo nos sistemas de pastagem foi inferior à da vegetação nativa. Contudo, a intensificação da pecuária utilizando irrigação e integração com árvores nativas promoveu melhoria na qualidade física do solo. Estratégias de manejo, como o ajuste da taxa de lotação, a adoção de sistemas integrados e o planejamento do espaçamento entre árvores, podem ser fundamentais para conciliar a produção pecuária com a manutenção da qualidade física do solo.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp, processos 2023/02444-5 e 2025/01213-5) pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

BYRNES, R.C., EASTBURN, D.J., TATE, K.W., ROCHE, L.M., 2018. A Global Meta-Analysis of Grazing Impacts on Soil Health Indicators. **J Environ Qual** 47, 758–765. https://doi.org/10.2134/JEQ2017.08.0313

DREWRY, J.J., CAMERON, K.C., BUCHAN, G.D., 2008. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing - A review. **Australian Journal of Soil Research** 46, 237–256. https://doi.org/10.1071/SR07125

HAMZA, M.A., ANDERSON, W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Res** 82, 121–145. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2004.08.009

KARLEN, D.L., DITZLER, C.A., ANDREWS, S.S., 2003. Soil quality: why and how? **Geoderma** 114, 145–156. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00039-9

LEMAIRE, G., FRANZLUEBBERS, A., CARVALHO, P.C. DE F., DEDIEU, B., 2014. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agric Ecosyst Environ** 190, 4–8. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009

MANN, H.B., WHITNEY, D.R., 1947. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. **Ann. Math. Statist.** 18(1): 50-60. https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491

SILVA, L.Á. DA, SOARES, J.J., 2003. Composição florística de um fragmento de floresta estacional semidecídua no município de São Carlos-SP. **Revista Árvore** 27, 647–656. https://doi.org/10.1590/s0100-67622003000500007

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE TEMPORAL DA DENSIDADE DO SOLO SOB SISTEMAS DE PREPARO A LONGO PRAZO

Kaline Aparecida Wagner[1*], Gabriel Barth[2], Karina Maria Vieira Cavalieri-Polizeli[3]

[1,] Estudante de Doutorado em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil. *kalinewagner@ufpr.br; [2] Fundação ABC - Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, Setor de Solos e Nutrição de Plantas, Ponta Grossa - PR, Brasil; [3] Professora do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil.

RESUMO

Compreender como práticas de manejo impactam a densidade do solo (ρs) é essencial para promover sistemas agrícolas sustentáveis. Este estudo avaliou a ρs em preparo convencional e plantio direto, em experimento de longa duração iniciado em 1989, com amostragens em 2014 e 2024, sobre um Latossolo Vermelho Distrófico, em Ponta Grossa (PR). Foram coletadas amostras em duas profundidades (0–15 cm e 15–30 cm). A ρs foi determinada pelo método do anel volumétrico. A análise de variância não indicou diferença significativa entre tratamentos e anos ($p > 0,05$), mas houve tendência de diferença na camada de 15–30 cm ($p = 0,062$). Resultados positivos foram observados em ambos sistemas, por apresentarem ρs < densidade crítica (ρsc). No entanto, ao analisar a porcentagem de amostras com ρs > densidade de alerta (ρsa), observou-se que os sistemas tiveram todos os valores > ρsa após 10 anos, indicando maiores investigações a respeito.

PALAVRAS-CHAVE: conservação; manejo; plantio direto; preparo convencional; revolvimento do solo.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios globais é atender à crescente demanda agrícola, ao mesmo tempo em que melhora a condição física do solo para sustentar serviços ecossistêmicos (Foley *et al*., 2011). Mudanças nas propriedades físicas do solo impactam serviços ecossistêmicos, incluindo a produção de alimentos, forragem e energia, além do controle da erosão, ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono e biodiversidade (Blanco-Canqui e Ruis, 2018). Assim, quantificar as modificações induzidas por práticas de cultivo é fundamental para avaliar o impacto dos sistemas agrícolas no solo.

O plantio direto (PD), prática que busca redução da perturbação do solo, diversificação de culturas e cobertura superficial residual, está se tornando cada vez mais popular na agricultura (Maucieri *et al*., 2021; Nonxuba *et al*., 2025), devido ao seu potencial de reduzir a erosão e as emissões de gases de efeito estufa, além de melhorar a qualidade do solo e a segurança alimentar (Ogle *et al*., 2019; Cooper *et al*., 2021). Em contraste, o preparo convencional do solo utiliza estratégias de cultivo intensivo para desagregar e homogeneizar o solo, visando controlar a pressão de ervas daninhas (Alskaf *et al*., 2020), otimizar as condições para a germinação de sementes e o estabelecimento de culturas (Blunk *et al*., 2021).

O preparo convencional (PC) conduzido com rotação de culturas pode trazer benefícios ao sistema produtivo, como a diversificação das espécies cultivadas e a melhoria da fertilidade do solo. No entanto, o revolvimento anual altera sua estrutura ao aproximar as partículas, reduzindo o volume dos poros e aumentando a densidade do solo (ρs), principalmente abaixo da camada arável, podendo comprometer sua qualidade a longo prazo (Abich *et al*., 2022). Além disso, uma vez degradado, o processo de recuperação do solo é um processo extremamente lento (Lal, 2015). A ρs tem sido a propriedade física mais amplamente estudada e relatada (Mondal & Chakraborty, 2022), configurando-se como um indicador sensível às mudanças no manejo do solo.

Assim, a hipótese deste trabalho é que a ρs ao longo de 10 anos, em um manejo de longo prazo, se estabiliza no plantio direto quando comparado ao preparo convencional, independente da camada. Nesse

sentido, o objetivo deste estudo foi comparar a ρs em ambos sistemas de preparo — PC e PD — em duas profundidades (0–15 cm; 15–30 cm) e em dois períodos 2014 e 2024.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um experimento de longa duração, pertencente à Fundação ABC implantado em 1989, em Ponta Grossa (PR), sobre um Latossolo Vermelho Distrófico típico (Santos *et al*., 2018), de textura argilosa. O relevo é suave ondulado e o clima subtropical úmido (Cfb), segundo Köppen, localizado em 25°00'53"S e 50°09'07"O. O delineamento experimental é em blocos ao acaso, com dois tratamentos e três repetições. Cada parcela mede 8,33 m × 25,0 m, com 1,0 m de bordadura. Foram avaliados dois sistemas de preparo: Preparo Convencional (PC), com uma aração e duas gradagens (~0,20 m de profundidade), e Plantio Direto (PD), sem revolvimento, exceto na linha de semeadura, ambos sob rotação de culturas.

Amostragens de solo foram realizadas em maio de 2014 e 2024. Em cada parcela, abriram-se duas trincheiras na área útil, de onde foram coletadas duas amostras indeformadas em cilindros volumétricos de metal (0,035 m × 0,05 m) nas profundidades de 0–15 cm e 15–30 cm, totalizando 48 amostras indeformadas. A ρs foi determinada calculando-se a massa de solo seco dividida pelo volume do anel (Blake & Hartge, 1986).

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). Posteriormente, aplicou-se a ANOVA, analisando-se os efeitos simples, já que a interação entre fatores não foi significativa. As análises foram realizadas no software R. Também foi calculada a porcentagem de amostras que ultrapassaram a densidade alerta (ρsa) em cada profundidade e sistema de preparo em 2014 e 2024. A estimativa da ρsa considerou a ρs na qual houve redução do Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), por efeito da porosidade de aeração e/ou resistência à penetração, conforme os dados de Vizioli *et al*. (2021), no mesmo experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na camada de 0–15 cm (Fig. 1A), a interação entre os fatores não foi significativa ($p = 0,501$), indicando que os tratamentos PC e PD apresentaram médias estatisticamente iguais nos anos analisados, com coeficiente de variação (CV = 5,34%). Assim, não há evidências de que o PC seja superior ao PD nessa camada, semelhante ao encontrado por Vizioli *et al*. (2021). Já na camada de 15–30 cm (Fig. 1B), o fator 1 (sistemas de preparo) apresentou $p = 0,062$, sugerindo uma possível diferença entre os tratamentos, mas não significativa, com CV de 4,09%. De acordo com Blanco-Canqui & Ruis (2018), os benefícios do PD na melhoria das propriedades do solo tendem a aumentar com o passar dos anos.

A interação entre fatores também foi não significativa ($p = 0,604$). Todavia, Vizioli *et al*. (2021), trabalhando no mesmo experimento, constataram ρs mais alta na camada de 15 – 30 cm, no PC, levando a ρsc mais restritiva. De acordo com Pachepsky & Park (2015), ρs>1,24 g cm^{-3} em solos argilosos, como o deste estudo, pode limitar o crescimento das raízes. No PD todas as médias ficaram abaixo de 1,24 g cm^{-3}. No PC, a ρs em ambas as camadas excederam esse valor, contudo no ano de 2024 a média de ρs foi de 1,21 na camada 0 – 15 cm. Conforme Colonego & Rosolem (2010), os efeitos do revolvimento do solo sobre as propriedades físicas persistem por até três anos. Como no PC o revolvimento é feito anualmente, isso justifica menores valores na camada superficial.

Como não foram obtidos valores de ρs maiores que a ρsc, o que é um bom indicativo, foram analisados os valores acima da ρsa buscando efeitos deletérios dos sistemas na ρs. Na Figura 1C, observa-se que no PC todos os valores ficaram acima da ρsa em ambos os períodos avaliados. No PD em 2014, 80% dos valores ficaram acima da ρsa na produndidade 0-15 cm, em 2024 em ambas as camadas todos os valores ultrapassaram a ρsa. Al-Wazzan & Muhammad (2022) obtiveram menores valores de ρs no PD quando comparado ao PC em um experimento de 4 anos. Todavia, é importante ressaltar que mesmo o PD possuindo

valores dentro da ρsa, sistemas sem revolvimento promovem o desenvolvimento de bioporos, melhorando as funções hidráulicas do solo, ao contrário do PC (Miranda-Vélez *et al*., 2022).

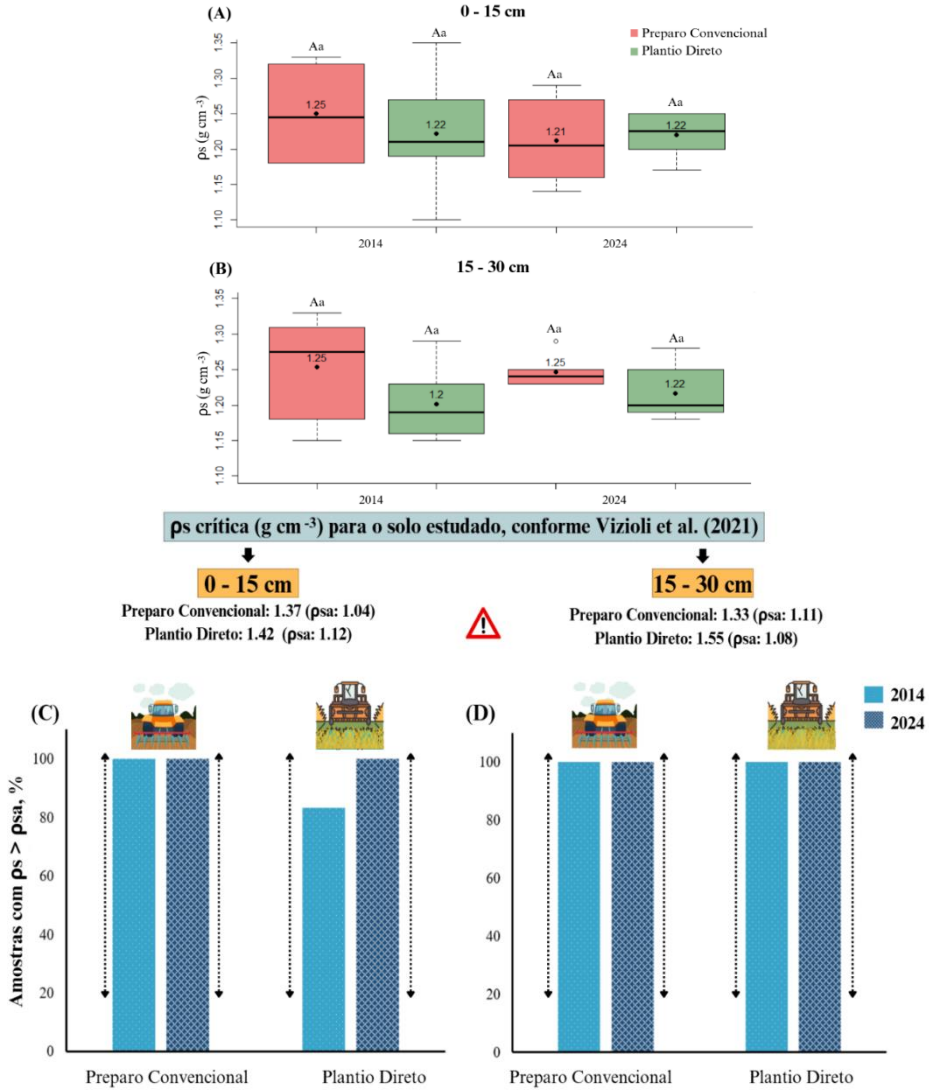


Figura 1. Densidade do solo nas camadas de 0–15 cm (A) e 15–30 cm (B) nos anos de 2014 e 2024. Proporção de amostras com densidade do solo (ρs) acima do limite de alerta (ρsa) nas camadas de 0–15 cm (C) e 15–30 cm (D) nos mesmos anos, em Ponta Grossa - PR. Foram avaliados os sistemas de preparo do solo: Convencional e Plantio Direto. Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente entre os sistemas de preparo e anos avaliados (Tukey p > 0,05).

CONCLUSÕES

Não houve diferença estatística na ρs entre os anos de 2014 e 2024, nem entre os tratamentos de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), confirmando a hipótese de que os sistemas estão estabilizados. Ambos sistemas não apresentaram ρs>ρsc, um bom indicativo. No entanto, ao analisar a porcentagem de amostras com ρs>ρsa, observou-se que ambos os sistemas tiveram todos os valores acima de ρsa após 10 anos. Sugere-se outras avaliações de atributos físicos do solo para comparar sistemas similares ao deste estudo, a longo prazo, pois a densidade não foi suficientemente sensível para detectar distinções entre ambos sistemas de preparo convencional e plantio direto.

AGRADECIMENTOS

Fundação ABC e CAPES.

BIBLIOGRAFIA

ABICH, S. O.; GITAU, A. N.; NYAANGA, D. The effect of agricultural soil compaction on physico-mechanical properties of silt loam soils of Njoro, Kenya. **Agricultural Engineering International**, v. 24, n. 4, 2022.

AL-WAZZAN, F. A.; MUHAMMAD, S. A. Effects of conservation and conventional tillage on some soil hydraulic properties. *In: IOP Conference Series:* **Earth and Environmental Science**, v. 1060, n. 1, p. 012002, 2022.

ALSKAF, K.; SPARKES, D. L.; MOONEY, S. J.; SJÖGERSTEN, S.; WILSON, P. The uptake of different tillage practices in England. **Soil Use and Management**, v. 36, n. 1, p. 27-44, 2020.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. *In:* **Methods of Soil Analysis***: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*. 5. ed. p. 377-382, 1986.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p. 164-200, 2018.

BLUNK, S.; BUSSELL, J.; SPARKES, D.; DE HEER, M. I.; MOONEY, S. J.; STURROCK, C. J. The effects of tillage on seed-soil contact and seedling establishment. **Soil and Tillage Research**, v. 206, 104757, 2021.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 242-249, 2010.

COOPER, H. V.; SJÖGERSTEN, S.; LARK, R. M.; GIRKIN, N. T.; VANE, C. H.; CALONEGO, J. C.; ...; MOONEY, S. J. Long-term zero-tillage enhances the protection of soil carbon in tropical agriculture. **European Journal of Soil Science**, v. 72, n. 6, p. 2477-2492, 2021.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; ...; ZAKS, D. P. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.

MAUCIERI, C.; TOLOMIO, M.; MCDANIEL, M. D.; ZHANG, Y.; ROBATJAZI, J.; BORIN, M. No-tillage effects on soil CH4 fluxes: A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 212, 105042, 2021.

MIRANDA-VÉLEZ, Jorge F.; DIAMANTOPOULOS, Efstathios; VOGELER, Iris. Does macropore flow in no-till systems bypass mobile soil nitrogen after harvest? **Soil and Tillage Research**, v. 221, p. 105408, 2022.

MONDAL, S.; CHAKRABORTY, D. Global meta-analysis suggests that no-tillage favourably changes soil structure and porosity. **Geoderma**, v. 405, 115443, 2022.

NONXUBA, C. S.; ELEPHANT, D. E.; NCIIZAH, A. D.; MANYEVERE, A. Medium-term effects of tillage, crop rotation and crop residue management practices on selected soil physical properties in the sub-humid region of Eastern Cape, South Africa. **Soil and Tillage Research**, v. 248, 106420, 2025.

OGLE, S. M.; ALSAKER, C.; BALDOCK, J.; BERNOUX, M.; BREIDT, F. J.; MCCONKEY, B.; ...; VAZQUEZ-AMABILE, G. G. Climate and soil characteristics determine where no-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, 11665, 2019.

PACHEPSKY, Yakov; PARK, Yongeun. Saturated hydraulic conductivity of US soils grouped according to textural class and bulk density. **Soil Science Society of America Journal**, v. 79, n. 4, p. 1094-1100, 2015.

PENNOCK, D. **Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management**. 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

VIZIOLI, B.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; BARTH, G. Effects of long-term tillage systems on soil physical quality and crop yield in a Brazilian Ferralsol. **Soil and Tillage Research**, v. 209, 104935, 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DENSIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Brian Thiago Defert [1*]; Kleber Henrique Cabrini Junior[2]; Mayara Scibor[3]; Bruna Ramalho[4]; Clovis Roberto Hoffmann[5].

[1,2,3]Estudante de graduação na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR *briantdefert.contato@gmail.com, [4]Professora na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR, [5]Pesquisador no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR, Pinhais-PR.

RESUMO

A conservação do solo é fundamental para garantir a sustentabilidade agrícola, problemas de degradação da estrutura e sua deterioração. O objetivo deste estudo foi avaliar a densidade do solo em diferentes camadas de diferentes sistemas de produção. O experimento foi realizado em Pinhais-PR, em parcelas subdivididas com cinco repetições e seis tratamentos: cultura anual, floresta nativa, silvipastoril, pastoreio racional Voisin e fruticultura implantada há 4 e 30 anos. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-15 cm utilizando o método do anel volumétrico. Os resultados indicaram que a floresta nativa apresentou menor densidade do solo quando comparado aos demais tratamentos. Já o sistema de cultura anual, as camadas de 0-5 cm e 5-10 cm apresentaram densidade significativamente menor (0,97 g cm^{-3} e 1,05 g cm^{-3}, respectivamente) em relação à camada de 10-15 cm (1,10 g cm^{-3}), evidenciando início de adensamento de agregados em maiores profundidades.

PALAVRAS-CHAVE: estrutura do solo; sistemas agroflorestais; profundidade do solo; preparo convencional.

INTRODUÇÃO

A conservação do solo é um tema recorrente dentro da Ciência do Solo, que busca solucionar os problemas de degradação da estrutura e a deterioração da sua qualidade. O uso intensivo do solo através da mecanização em operações ou pastejo extensivo ocasiona a redução das suas propriedades químicas, físicas e biológicas, o que reflete diretamente no seu uso, diminuindo sua capacidade produtiva e como resultado a baixa produção de alimentos (Camargo & Alleoni, 1997; Nascimento *et al*., 2017). A densidade do solo é um fator determinante no desenvolvimento e na produtividade das plantas, apresentando uma tendência de aumento desse parâmetro físico com o aumento da profundidade do perfil de solo. Esse aumento é influenciado por diversos fatores, como a diminuição do teor de matéria orgânica, a redução da agregação do solo, o aumento da compactação e a consequente diminuição da porosidade (Stone & Silveira, 2001; Bicalho, 2011).

Sistemas conservacionistas, como o sistema de plantio direto (SPD), favorecem a permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo, o que contribui para o aumento do teor de matéria orgânica e a melhoria da estrutura do solo, uma vez que, não há revolvimento do solo (Beutler *et al*., 2001). Por outro lado, o preparo convencional do solo, ao envolver o uso intensivo de máquinas, pode resultar em maior compactação superficial, elevando a densidade do solo e prejudicando suas propriedades físicas (Assis *et al*., 2005).

Sistemas de manejo que priorizam a diversidade e a rotação de culturas têm demonstrado resultados positivos na melhoria dos atributos físicos do solo, promovendo aumento na macroporosidade e na porosidade total, além de redução na densidade do solo em profundidades. Estudos indicam que sistemas integrados e agroflorestais, quando bem estabelecidos, apresentam estoques de carbono no solo comparáveis aos de florestas nativas adjacentes, o que contribui significativamente para a melhoria da estrutura e qualidade do solo (Carvalho *et al*., 2004; Santos, 2011; Arruda *et al*., 2019). Ademais o menor teor de carbono orgânico em camadas subsuperficiais favorece a formação de agregados menores e, por consequência, um empacotamento mais eficiente das partículas do solo. Além disso, o peso das camadas superiores contribui para o adensamento natural das camadas inferiores (Zinn *et al*., 2012).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a densidade do solo em diferentes camadas superficiais do solo sob diferentes sistemas de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Curitiba vinculada ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR), localizada no município de Pinhais-PR, cujas coordenadas são 25°22'54"S e 49°07'40"W, com 905 m de altitude. A área experimental está inserida em uma região de clima do tipo Cfb – subtropical úmido (mesotérmico), conforme a classificação de Köppen. Esse clima é caracterizado por uma média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem uma estação seca bem definida, com pluviosidade média anual de aproximadamente 1.400 a 1.600 mm. A formação do solo da região é de Cambissolos álicos e solos orgânicos (Santos *et al*., 2018). O Organossolo, onde está situado o tratamento de lavoura anual, apresenta textura média, composta por 36,3% de argila, 25,0% de silte e 38,8% de areia. Já o Cambissolo, onde se encontram os demais tratamentos, possui 58,8% de argila, 13,7% de silte e 32,5% de areia.

O experimento foi constituído por seis sistemas de uso do solo em delineamento experimental de parcelas subdividas com cinco repetições: i) lavoura anual; ii) floresta nativa; iii) sistema silvipastoril; iv) Pastoreio Racional Voisin (PRV); v) fruticultura implantada há 4 anos; e vi) fruticultura implantada há 30 anos.

A área experimental aplica princípios agroecológicos e integra a produção animal por meio do sistema silvipastoril, implantado em 2006, no qual utilizam-se espécies arbóreas como angico-vermelho e angico-branco (*Anadenanthera* spp.), aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius*), entre outras, associadas a forrageiras como *Cynodon* spp. e *Brachiaria* spp., visando à recria de novilhas. Na lavoura anual, as espécies mais comumente cultivadas no verão são milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*), visando à produção de grãos e silagem para a alimentação dos animais da própria unidade. Durante o inverno, realiza-se pousio ou adubação verde, sendo o preparo do solo conduzido de forma mecanizada, com o uso de subsolador ou grade aradora. O Pastoreio Racional Voisin (PRV) é adotado como técnica de manejo de pastagem, caracterizando-se pela divisão do campo em piquetes e pela rotação de rebanho, o que favorece a regeneração das plantas e otimiza a produção leiteira. Por fim, a área de fruticultura conta com dois pomares distintos. Um deles, implantado há cinco anos em área anteriormente destinada à pastagem, abriga talhões de ameixa (*Prunus* spp.) e uva (*Vitis vinifera*). O outro, com cerca de 30 anos, é voltado ao cultivo de caqui (*Diospyros kaki*). Em ambos os pomares, a vegetação espontânea é mantida, com manejo por roçadas realizadas a cada 2 a 3 meses.

A coleta das amostras de solo ocorreu em janeiro de 2025 nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-15 cm, e o método de determinação da densidade do solo foi através do anel volumétrico (MVA) (Embrapa, 1997). As dimensões do anel volumétrico utilizado foi 50 mm de altura, 57 mm de diâmetro e o volume de 127 cm^3. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, quando observada diferença significativa ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, considerando um nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A floresta nativa apresentou estatisticamente a menor densidade do solo na camada de 0-5 cm (0,59 g cm^{-3}) comparado a cultura anual (0,97 g cm^{-3}), silvipastoril (0,77 g cm^{-3}), Voisin (0,87 g cm^{-3}), fruticultura 4 anos (0,83 g cm^{-3}) e fruticultura 30 anos (0,80 g cm^{-3}; Tabela 1). Os sistemas silvipastoril, fruticultura (5 e 30 anos) e pastoreio racional Voisin (PRV) apresentaram densidades intermediárias e estatisticamente semelhantes em cada profundidade, sugerindo que esses sistemas mantêm a estrutura do solo em melhores condições do que o manejo convencional.

A cultura anual convencional por sua vez apresentou as maiores densidades, especialmente nas camadas mais profundas (5-10 cm e 10-15 cm; Tabela 1), o que indica maior adensamento de agregados possivelmente associada ao tráfego de máquinas e práticas de manejo intensivo. No caso da floresta nativa, que apresentou a menor densidade do solo (0,59 g cm^3) na mesma profundidade, os dados sugerem que sistemas que mantêm ou aumentam a cobertura do solo, como o plantio direto, floresta e integração silvipastoril são mais eficazes na prevenção da compactação, preservando uma estrutura mais porosa e funcional (Assis & Lanças, 2005). De acordo com Andrade *et al*. (2005), de modo geral, os solos superficiais

sob cobertura de mata ou pastagens apresentam baixas densidades, enquanto aqueles submetidos a cultivos contínuos tendem a apresentar densidades mais elevadas. Essa elevação está associada, principalmente, ao tráfego excessivo de máquinas agrícolas e ao uso repetitivo de implementos, que promovem a compactação e o adensamento do solo, resultando, consequentemente, em maiores valores de densidade.

Ao comparar as diferentes camadas, no sistema de cultura anual, as camadas de 0-5 cm (0,97 g cm³) e 5-10 cm (1,05 g cm³) apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação à camada de 10-15 cm (1,10 g cm³) (Tabela 1), fato possivelmente devido a maior quantidade de matéria orgânica (Reichert *et al*., 2007). Nos demais sistemas de produção observou-se de maneira geral um aumento na densidade do solo com a profundidade, o que é esperado devido à maior adensamento natural e menor atividade biológica nas camadas mais profundas. Já no sistema de pastoreio racional Voisin, o aumento da densidade foi mais acentuado na profundidade de 10-15 cm, atingindo 1,18 g cm^{-3} sugerindo que o pisoteio animal ou o manejo dos piquetes se não manejados podem contribuir para a uma futura compactação do solo nessa camada.

Tabela 1. Densidade do solo em diferentes sistemas de produção e profundidades. Pinhais-PR.

Sistema de produção	Profundidade (cm)	Densidade do solo (g cm^{-3})	
cultura anual (convencional)	0-5	0,97	Ca
	5-10	1,05	Bab
	10-15	1,10	Bb
floresta nativa	0-5	0,59	Aa
	5-10	0,74	Ab
	10-15	0,82	Ab
silvipastoril	0-5	0,77	Ba
	5-10	0,99	Bb
	10-15	1,09	Bb
pastoreio racional Voisin	0-5	0,87	Ba
	5-10	1,05	Bb
	10-15	1,18	Bc
fruticultura 4 anos	0-5	0,83	Ba
	5-10	1,04	Bb
	10-15	1,11	Bb
fruticultura 30 anos	0-5	0,80	Ba
	5-10	1,04	Bb
	10-15	1,11	Bb

Nota: Letras maiúsculas na coluna comparam os sistemas de produção dentro da mesma profundidade, e letras minúsculas na coluna comparam as diferentes profundidades dentro do mesmo sistema de produção.

CONCLUSÕES

A camada mais superficial do solo (0-5 cm) apresentou menor densidade do solo e possivelmente maior adensamento de agregados em relação às camadas mais profundas (5-10 cm e 10-15 cm), evidenciando que práticas que mantêm/aumentam a cobertura do solo contribuem significativamente para a melhoria da qualidade e sustentabilidade do solo. A comparação entre práticas convencionais, como a cultura anual, mostrou maior densidade do solo na camada de 0-5 cm em comparação aos demais sistemas de produção. Por outro lado, o solo de mata nativa apresentou menor densidade em todas as camadas, quando comparado aos outros sistemas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao IDR-CPRA pelo espaço cedido para a realização deste estudo e pelo apoio fornecido ao longo da pesquisa e aos professores da universidade Tuiuti do Paraná pela orientação.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, A. R. S. D., GUERRINI, I. A., GARCIA, C. J. B., KATEZ, I., & GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, 29, 322-329, 2005.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.167-177, 2001.

BICALHO, I. M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-9, 2011.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. 132 p.

CARVALHO, Rodrigo; GOEDERT, Wenceslau J.; ARMANDO, Marcio Silveira. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1153-1155, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERNANDES, C. H. dos S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Desenvolvimento do sistema de plantio direto no Brasil: histórico, implantação e culturas utilizadas. **UNICIÊNCIAS**, v. 23, n. 2, p. 83–88, 4 dez. 2019.

MENDONÇA, V. Z. de; MELLO, L. M. M. de; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; *et al*. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 251–259, jan. 2013.

NASCIMENTO, V. N.; ALMEIDA, G. L. P.; BATISTA, P. H. D.; COUTINHO, A. S. Atributos físicos do neossolo regolítico distrófico sob pastagem submetido à colheita mecanizada da forragem e pastejo animal. **Boletim de Indústria Animal,** [S. l.], v. 74, n. 3, p. 169–175, 2017.

OLIVEIRA, G. B. S. **Estoques de carbono pelo método de pedotransferência e do anel volumétrico em diferentes classes de solos sob sistemas agroflorestais e na floresta nativa**. 2020. 51 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Rio Branco, 2020.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação.** 2007. Disponível em: https://fisicadosolo.ccr.ufsm.quoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/2007_Topicos.pdf.

SANTOS, G. G. *et al*. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1339–1348, out. 2011.

SANTOS, H. G. *et al***. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

ZINN, Y. L., GUERRA, A. R., SILVA, A. C., MARQUES, J. J., OLIVEIRA, G. C. D., & CURI, N. (2012). Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões Sul e Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais: modelagem em profundidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36, 1395-1406.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DENSIDADE E POROSIDADE COMO INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DA ESTRUTURA DO SOLO SOB MANEJO DE PASTAGEM E MATA NATIVA

Stefanie do Prado da Silva[1*], Renato Paiva de Lima[2], Zigomar Menezes de Souza[2], Rafael Braghieri Menillo[3], Maurício Roberto Cherubin[4].

[1](Estudante de Mestrado) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, [2](Professor) Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, [3](Estudante de Doutorado) Universidade de São Paulo - ESALQ USP, [4](Professor) Universidade de São Paulo - ESALQ USP.
*s230612@dac.unicamp.br

RESUMO

A qualidade física do solo é fundamental para a sustentabilidade dos ecossistemas, sendo diretamente influenciada pelas práticas de manejo. Este estudo teve como objetivo avaliar se o sistema de pastagem agrícola aumenta a densidade do solo e reduz a porosidade deste (macroporosidade, microporosidade e porosidade total) em comparação a vegetação nativa. As amostras foram coletadas no município de Jardim Olinda-PR, em um Latossolo franco argila arenoso, em áreas de pastagem (PA) e mata nativa (NF), em três profundidades (0,0–0,1m; 0,1–0,2m; 0,2–0,3m), com cinco pontos amostrais. As análises seguiram metodologia da EMBRAPA e incluíram densidade do solo e porosidade. O teste t foi aplicado no software R para comparar médias. Os resultados mostraram maior densidade e menor macroporosidade e porosidade total na PA, devido ao pisoteio animal. A NF manteve melhores condições físicas. Conclui-se que o manejo inadequado da pastagem compromete a estrutura do solo, demandando práticas conservacionistas.

PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo; indicadores físicos do solo; práticas agrícolas.

INTRODUÇÃO

O solo é indispensável para o funcionamento do ecossistema, como descreve Vezzani (2015) é por meio deste recurso que ocorrem os fluxos de energia e matéria. Este sistema pode muitas vezes sofrer alterações negativas devido a degradação do solo, que pode ocorrer em meses como resultado de manejos inadequados (Martins e Fernandes, 2017).

Dentre os sistemas que mais impactam a qualidade do solo, encontra-se a pecuária extensiva, que dispõe de práticas de superlotação do pasto, excedendo sua capacidade e intensificando a compactação do solo através do pisoteio excessivo, afetando negativamente também os demais atributos físicos (Bartholomeu, 2009; Dias Filho, 2014).

A densidade do solo é um dos indicadores físicos mais empregados no estudo da estrutura e compactação do solo segundo Ferreira *et al*. (2010), assim como a porosidade que também é influenciada de forma negativa pelo uso de práticas que culminem na degradação física da área (Cavalieri *et al*., 1992). Sendo ambos os indicadores correlacionados devido a densidade sofrer forte influência com a variação do espaço poroso, segundo Ferreira *et al*. (2010), em que com o aumento da compactação os macroporos reduzem em quantidade e tamanho.

Espera-se que a pastagem apresente índices elevados de densidade e reduzidos de porosidade devido ao uso intensivo do solo em comparação a mata nativa. Dessa forma, o presente estudo objetiva avaliar se o sistema de pastagem agrícola aumenta a densidade do solo e reduz a porosidade deste (macroporosidade, microporosidade e porosidade total) em comparação a vegetação nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de amostras de solo foi realizada na região Sul do Brasil, situada no município de Jardim Olinda-PR, em uma fazenda comercial (22°34'29.8"S 52°03'24.3"W), dispondo de um Latossolo com textura franco argila arenosa (73% areia, 2% silte e 25% argila), sendo denominado C_{25} quanto ao conteúdo de argila.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

As amostras foram coletadas em mata nativa (NF) e em área contendo um sistema de uso agrícola de pastagem (PA), sendo recolhidas em 5 pontos amostrais aleatórios.

Para a coleta, foram escavadas mini-trincheiras de dimensões 0,40 × 0,40 × 0,40 m utilizando uma pá, sendo as amostras indeformadas de solo obtidas em anéis volumétricos de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura, e retiradas em 3 diferentes camadas 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m, e 0,2-0,3 m de profundidade, sendo C1, C2 e C3 respectivamente, totalizando 30 pontos amostrais.

Dados (potencial mátrico e conteúdo de água no solo) obtidos pelo equilíbrio hidráulico em mesa de tensão e câmara de Richards foram usados para obtenção dos parâmetros da curva de retenção de água no solo, ajustada via modelo de van Genuchten's (1980) por meio do R pacote soilphysics (Lima e Silva, 2022).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 - (\alpha h)^n]^m} \quad (1)$$

Onde h é potencial mátrico do solo (hPa), usado para equilibrar as amostras na câmara; θ_s ($m^3\ m^{-3}$) é conteúdo de água na saturação; θ_r ($m^3\ m^{-3}$) é conteúdo de água residual; α (hPa^{-1}), *n* e *m* são parâmetros de ajuste (admensional), com α assumindo unidades equivalentes a *h*. A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) será calculada por meio do da equação de Darcy, após o ensaio em permeâmetro de carga constante KSAT (UMS GmbH):

$$K_0 = \frac{VL}{(L + h)At} \quad (2)$$

Onde K_s = condutividade hidráulica do solo saturado, cm/h; V = volume de água coletado, ml em um intervalo de tempo; L = altura do da amostra de solo, cm; h = altura da coluna de água sobre a amostra, cm; A = área da seção, cm^3; t = tempo de coleta do volume drenado, h.

A porosidade total do solo (Φ) será calculada pela razão entre a densidade do solo (DS) e a densidade de partículas (D_p) (Eq. 3), enquanto a porosidade de aeração (ε) será calculada pela relação entre o conteúdo de água retido em h (θ_h) e a porosidade total do solo (Eq. 4). Para a densidade, foram utilizadas o método gravimétrico após a secagem das amostras a 105°C até massa constante, sendo feita a relação com o volume da amostra. Todas essas análises foram desenvolvidas segundo o método Embrapa (Teixeira *et al*., 2017).

$$\Phi = 1 - \left[\frac{DS}{D_p}\right] \quad (3)$$

$$\varepsilon = \Phi - \theta_h \quad (4)$$

A análise estatística dos dados ocorreu através do teste T de comparação de médias, para a compreensão da significância dos tratamentos, para isso, foi utilizado o Software R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas 3 diferentes camadas conclui-se que a densidade (Tabela 1) foi significativamente maior na área sob pastagem agrícola (PA), resultado do pisoteio animal durante o pastejo, ocasionado pela compactação do solo que eleva a sua densidade, segundo Imhoff *et al*. (2000) áreas cultivadas com capim de crescimento em touceiras tendem favorecer a compactação devido a maior superfície exposta para o pisoteio, em contrapartida a mata nativa (NF) mostrou densidade mais reduzida, devido à ausência de interferência antrópica com práticas agrícolas, preservando a estrutura física do solo, resultados semelhantes foram obtidos por Custódio *et al*. (2015), que embora não obteve diferença significativa entre seu tratamentos, a NF demonstrou menores médias em todas as camadas em relação a PA, além disso descreve que a densidade elevou-se com o aumento da profundidade na área de mata nativa, ocorrendo o mesmo no presente estudo.

A porosidade total (Tabela 1) demonstrou um resultado inverso da densidade, onde a pastagem (PA) obteve médias significativamente menores em relação a mata nativa (NF), Rudnick (2015) obteve o mesmo

resultado em seu trabalho que compara a mata nativa com pastagens de diferentes anos de implantação, isso ocorre devido ao superpastejo, do qual é capaz de provocar alterações drásticas na física do solo, reduzindo o espaço poroso e consequentemente elevando a densidade, o que muitas vezes limita a produtividade das pastagens (Carneiro *et al*., 2010; Jorge *et al*., 2012).

Quanto a macroporosidade (Tabela 2), as maiores médias foram em NF em relação a PA, decorrente do maior espaço poroso presente em solos de baixa compactação, contrastando com a microporosidade (Tabela 2), que detém maiores médias na pastagem nas camadas 2 e 3, indicando que os macroporos de maior volume reduzem em quantidade e volume, perdendo em proporção para microporos, tendo em vista que microporos sofrem menos impactos negativos decorrentes das práticas utilizadas, uma vez que a pressão excessiva no solo resulta no rearranjo em agregados menores, diminuindo macroporos, além do maior movimento de partículas finas que podem obstruí-los (Valladares *et al*., 2011; PEDRON *et al*., 2011).

Tabela 1. Representação das médias de densidade do solo e porosidade total obtidas pelo teste T em 3 profundidades e suas comparações em diferentes sistemas.

Sistemas	Densidade do Solo (Mg m³)			Porosidade Total ($m^3\ m^{-3}$)		
	0,0-0,1 m (C1)	0,1-0,2 m (C2)	0,2-0,3 m (C3)	0,0-0,1 m (C1)	0,1-0,2 m (C2)	0,2-0,3 m (C3)
Mata Nativa	1,414*	1,549*	1,613*	0.470*	0.426*	0.402*
Pastagem	1,726*	1,721*	1,693*	0.359*	0.369*	0.379*
p-valor (NF)	6.935771e-07	5.282621e-07	2.014417e-07	1.141939e-06	1.736172e-06	9.807778e-07
p-valor (PA)	2.181696e-07	3.327415e-07	3.195261e-07	2.188074e-06	2.809146e-06	2.267989e-06

*: Significativo pelo teste T (p<0,05). NF: Mata Nativa. PA: Pastagem

Tabela 2. Representação das médias de macroporosidade e microporosidade obtidas pelo teste T em 3 profundidades e suas comparações em diferentes sistemas.

Sistemas	Macroporosidade ($m^3\ m^{-3}$)			Microporosidade ($m^3\ m^{-3}$)		
	0,0-0,1 m (C1)	0,1-0,2 m (C2)	0,2-0,3 m (C3)	0,0-0,1 m (C1)	0,1-0,2 m (C2)	0,2-0,3 m (C3)
Mata Nativa	0.297*	0.256*	0.228*	0.173*	0.169*	0.173*
Pastagem	0.209*	0.150*	0.149*	0.149*	0.219*	0.230*
p-valor (NF)	3.510480e-06	0.0000113467	7.227698e-05	6.025734e-05	1.635995e-04	5.774657e-05
p-valor (PA)	4.095008e-05	0.0002775655	4.923732e-05	2.663837e-05	2.836538e-06	8.599349e-07

*: Significativo pelo teste T (p<0,05). NF: Mata Nativa. PA: Pastagem

CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que a pastagem (PA) agrava os indicadores físicos de qualidade do solo, tendo a mata nativa como referência, aumentando a densidade e reduzindo o espaço poroso, esses resultados reforçam a importância de práticas conservacionistas para minimizar os impactos do manejo na qualidade física do solo.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

BARTHOLOMEU, D.B. Análise das Emissões de GEE, ameaças e oportunidades para o setor agropecuário brasileiro. Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Cuiabá, 2009.

CARNEIRO, S. P. Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da UFMG, Belo Horizonte, 2010

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL, P. S.; GONÇALVES, A. C. A; CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Sistemas de preparo de solos de cerrado: efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.27, n.2, p. 315- 324, 1992.

CUSTÓDIO, Gustavo Dias *et al*. Densidade do solo e densidade relativa-indicadores da qualidade física de um latossolo amarelo sob diferentes manejos de pastagens e mata nativa. Revista Campo Digital, v. 10, n. 1, 2015.

DIAS-FILHO, M.B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Belém – PA; Embrapa Amazônia Oriental, 2014, 36 p. ISSN 1983-0513;402.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de Sistemas de Manejo de Pastagens nas Propriedades Físicas do Solo. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, out./dez. 2010.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.7, p.1493-1500, 2000.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. Biosci. J., Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 159-169, Mar. 2012

Lima, R. P., & da Silva, A. R. soilphysics: A suite of tools to fit and compare water retention curves. Soil Science Society of America Journal, 86(3), 658-663, 2022.

MARTINS, J. Casimiro; FERNANDES, Rui. Processos de degradação do solo-medidas de prevenção. Vida Rural, v. 5, n. 1827, p. 34-36, 2017.

PEDRON, F. A. FINK, J. R. RODRIGUES, M. F. AZEVEDO, A. C. Condutividade e retenção de água em Neossolos e saprolitos derivados de arenito. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 4, p. 1253-1262, 2011.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

RUDNICK, V. A. S. *et al*. Atributos físicos do solo com pastagens em Rondônia. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

TEIXEIRA, Paulo César *et al*. Manual de métodos de análise de solo. 2017.

VALLADARES, G. S. BATISTELLA, M. PEREIRA, M. G. Alterações ocorridas pelo manejo em Latossolo, Rondônia, Amazônia Brasileira. Bragantia, v. 70, n. 3, p.631-637, 2011.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil science society of America journal, 44(5), 892-898, 1980.

VEZZANI, Fabiane Machado. Solos e os serviços ecossistêmicos. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, n. 4, p. 673-684, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MICROPLÁSTICOS EM CAMBISSOLO HÚMICO: ALTERAÇÕES NA DENSIDADE DO SOLO E NA DISTRIBUIÇÃO DE POROS

Gabriel dos Santos da Cruz[1*], Vander de Freitas Melo[2], André Carlos Auler[2], Eloana Janice Bonfleur[2]
[1]Discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; [2]Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR.
*gabriel.cruz@ufpr.br.

RESUMO

A contaminação ambiental por microplásticos (MPs) afeta as propriedades físicas do solo. Este estudo avaliou: O impacto de dois tamanhos de MP de polietileno de alta densidade (HDPE) (150 e 40-48 µm) na porosidade do solo (total, macro, meso, microporosidade) e densidade aparente (Ds) em Cambissolo Húmico. Usando um delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos de MP, 9 colunas preenchidas com amostras de solo perturbadas (horizontes A e Bi) foram incubadas por 90 dias. As colunas foram tratadas com 2% (p/p) de MP na primeira camada e periodicamente lixiviadas. MP reduziu Ds em camadas mais profundas, além da descida de MP. A presença de MPs levou a redução da Pt, Ma e Me.

PALAVRAS-CHAVE: densidade do solo; porosidade total; macroporosidade; mesoporosidade.

INTRODUÇÃO

A presença de microplásticos (MPs) no solo faz com que as propriedades físicas do solo sejam modificadas, tais propriedades são de suma importância para a manutenção da qualidade do solo pois influenciam os microrganismos do solo, as plantas terrestres e fauna do solo, assim, como também estão diretamente correlacionadas com as propriedades químicas do solo (Wang *et al*., 2022).

Os poros do solo têm a função de fornecer habitat para a fauna do solo, microrganismos do solo, além, de servirem como canais condutores de água no solo. Portanto, é necessário haver uma compreensão de como a presença dos MPs interferem nessas funções exercidas pelo espaço poroso do solo, assim, comprometendo a qualidade física do solo.

Em experimento realizado por Zhang *et al*. (2019), demonstrou que a presença de MPs no solo causou aumento nos poros >30 µm, no entanto, em poros < 5 µm), o que bloqueia os microporos do solo de < 30 µm, a sua hidrofobicidade que causa repelência à água do solo e reduz o armazenamento de água. E, por fim, os MPs ligam-se as partículas do solo e formam grandes agregados do solo, assim, aumentando os grandes poros do solo (>30 µm) (Wang *et al*., 2022).

Como a densidade do solo esta intrinsicamente ligada a porosidade solo, qualquer interferência que cause aumento na densidade do solo resulta em diminuição de macroporos e um aumento de meso e microporos (Indoria *et al*., 2020). Estudos recentes têm indicado que a contaminação do solo por MPs resulta na diminuição na densidade do solo (Souza Machado *et al*., 2018).

A hipótese do presente trabalho é que a presença e tamanho dos microplásticos de polietileno de alta densidade (HDPE), altera os atributos físicos em colunas de solo. O objetivo deste trabalho foi: avaliar as influências de MP de polietileno de alta densidade (HDPE) de dois tamanhos (150 µm e 40-48 µm) sobre a distribuição de poros (porosodade total (Pt), macro (Ma), meso (Me) e microporosidade (Mi)) e densidade aparente do solo (Ds) em Cambissolo Húmico.

MATERIAL E MÉTODOS

O Cambissolo Húmico (CH) (Santos *et al*., 2018) foi coletado no município de São José dos Pinhais-PR (25°32'21.1"S 49°04'02.9"O). Foram coletadas amostras deformadas dos horizontes A e Bi. Estas foram secas a temperatura ambiente, maceradas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Os parâmetros de fertilidade foram determinados de acordo com Marques e Motta (2003). O teor de

carbono orgânico total foi determinado por combustão seca (Vario EL III). O teor de areia foi determinado por peneiramento (0,053 mm) e de silte e argila pelo método da pipeta (Embrapa, 2007) (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas, granulométricas e mineralógicas dos horizontes do CH.

															OA		DCB
Solo	Hor.	Prof	pH $CaCl_2$	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	CTC pH 7	CO	Areia	Silte	Argila	Fe	Al	Fe
		m		---------- cmoc kg^{-1} ----------							---------- g kg^{-1} ----------						
CH	A	0-0,45	4,2	0,1	0,1	1,1	0,2	3,3	15,2	16,5	21,6	375	75	550	8,2	6,2	9,2
	Bi	0,45-0,70	4,2	0,1	0,1	0,7	0,1	1,9	7,2	8	2,8	313	163	525	1,8	1,5	16

Cambissolo Húmico (CH). CTC pH 7 -capacidade de troca catiônica a pH 7,0; Fe e Al (OA) – óxidos de Fe e Al amorfos extraídos com oxalato de amônio 0,2 mol L^{-1}; Fe (DCB) - Fe livre ou pedogenético extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; CO – carbono orgânico.

Os óxidos de Fe livres foram determinados com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) em banho-maria a 65 °C (Mehra & Jackson, 1960). A solubilização dos óxidos de Fe e Al amorfos da TFSA foi realizada pelo método do oxalato de amônio (OA) na ausência de luz (McKeague, 1978). A determinação dos teores de Fe e Al ocorreu por espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

O ensaio experimental foi conduzido em colunas de lixiviação, em casa de vegetação, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná (25°24´46.89´´S; 49°14´52.82´´O). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 3 condições de microplástico, com três repetições, totalizando 9 colunas.

As colunas de PVC (0,15 de diâmetro interno × 0,25 m altura) foram seccionadas em três camadas de 0,05 m. As colunas foram preenchidas com amostras deformadas de solo (< 2 mm), de modo a representar a presença e a contribuição dos horizontes no perfil do solo em campo: primeira e segunda camadas com horizonte A e a terceira com horizonte Bi. Ao solo da camada 0-0,05 m foi misturado 2 % (m/m) de microplásticos (MPs) de polietileno de alta densidade (HDPE), em duas granulometrias (150 e 40-48 µm). Posteriormente, as camadas foram unidas e saturadas por capilaridade com água deionizada.

Amostras indeformadas foram coletadas nos anéis de aço e encaminhas para mesa de tensão, na qual aplicou-se os potenciais mátricos (Ψm) de -3, -6 e -10 kPa para separação da macroporosidade, mesoporosidade e microporosidade, respectivamente. Foi adotado valor de umidade do solo na saturação como determinante da porosidade total. As amostras foram secas em estufa para determinação da densidade do solo (Ds).

Os dados foram submetidos a análise de variância, empregando o modelo estatístico de experimento inteiramente casualizado. As pressuposições de normalidade dos resíduos e homoscedasticidade foram verificadas através dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em casos de interação significativas pelo teste F, o teste Tukey foi aplicado para comparações múltiplas. Todas as análises estatísticas foram submetidas realizadas ao software R, versão 4.0.1 (Team, R. Core, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação de poluição com MP (2% m/m) de dois tamanhos (150 e 40-48 µm) afetou a Ds apenas na camada mais profunda de 0,10-0,15 m (Figura 1C). Esse comportamento indica a descida das partículas de MP ao longo das colunas. Em geral, a presença de MPs diminui a Ds do solo (Mbachu *et al*., 2021; Yu *et al*., 2023). A adição de MP de maior tamanho aumentou a Ds em relação ao tratamento com MP de menor diâmetro (Figura 1C). A morfologia das partículas também demonstrou influenciar a densidade aparente do

solo. Souza Machado *et al*. (2018) relataram que o poliéster fibroso diminuiu a densidade aparente do solo em maior extensão do que fragmentos e esferas.

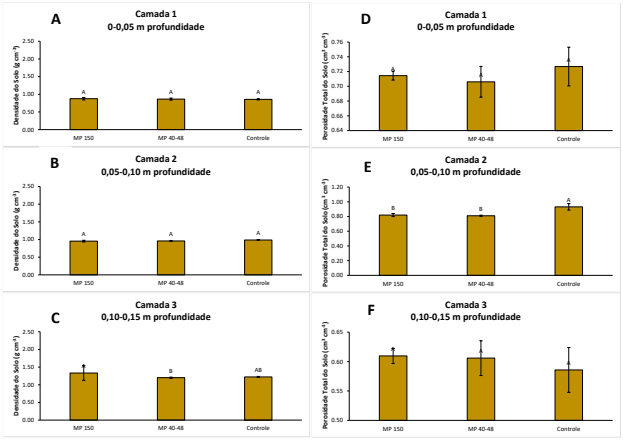


Figura 1. Densidade aparente (Ds) e Porosidade Total (PTS) do Cambissolo Húmico. Médias seguidas de letras maiúsculas comparam a presença (dois tamanhos) e a ausência de MPs, teste de Tukey ($p < 0.05$).

As duas primeiras seções da coluna foram preenchidas com horizonte A, que com base em suas características químicas, apresenta o maior potencial de desenvolver cargas negativas em seus coloides (Tabelas 1 e 2): i) maior teor de carbono orgânico. A matéria orgânica do solo apresenta intenso predomínio de cargas negativas para valores pH acima 4,0 (CTC >>> CTA) (Schmitt *et al*., 2018); ii) baixos teores de óxidos de Fe na fração argila. iii) essa expectativa de maior ocorrência de cargas negativas no horizonte A foi materializada por seu maior valor de CTC a pH 7,0. O MP também apresenta cargas negativas para valores de pH superiores a 1,7 (Nguyen *et al*., 2021). Nesse ambiente mais eletronegativo do horizonte A haverá maior repulsão entre os coloides dos agregados < 2 mm e o MPs, mantendo-os nos macroporos e facilitando a migração dessas partículas até as seções inferiores da coluna.

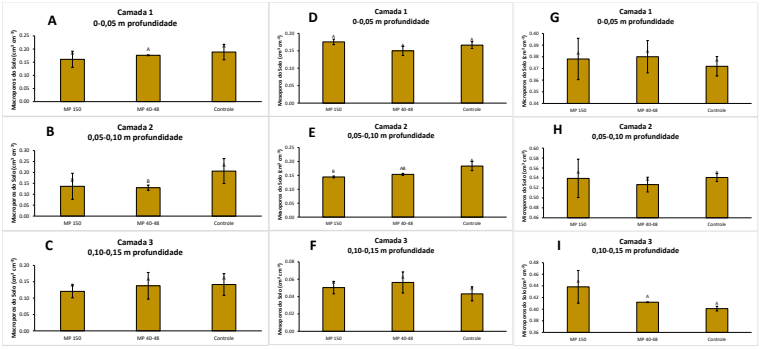


Figura 2. Macroporosidade, mesoporidade e microporosidade do Cambissolo Húmico. Médias seguidas de letras maiúsculas comparam a presença (dois tamanhos) e a ausência de MP, teste de Tukey ($p < 0.05$).

A adição de MPs causou redução na Pt somente na camada 0,05-0,10 m (Figura 1E). A redução da Pt foi acompanhada pela redução da Ma e Me nesta mesma camada (Figura 2B e E). Esse comportamento é mais uma evidência da descida de MP e entupimento parcial dos poros de maior diâmetro da camada intermediária. As propriedades hidráulicas do solo e as características dos poros desempenham um papel crítico no crescimento das raízes, na absorção de água e nutrientes, bem como na migração de água e soluto

no solo (Wan *et al*., 2019). Ainda com relação aos valores de Me, a descida mais intensa de MP promoveu uma redução no volume dessa classe de poros em sua camada intermediária (Figura 2E).

CONCLUSÕES

A migração de microplástico (MP) é dependente das características originais de volume de macroporos dos perfis de solos. Os dados dos parâmetros físicos indicam a descida do MP aplicado na primeira camada para as camadas mais profundas. O excesso de cargas negativas nos coloides orgânicos e minerais cria um ambiente de repulsão eletrostática e também facilita a descida dos MP no perfil dos solos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFPR e a CAPES.

BIBLIOGRAFIA

INDORIA, A. K.; SHARMA, K. L.; REDDY, K. S. Hydraulic properties of soil under warming climate. *In*: **Climate change and soil interactions** (pp. 473-508). Elsevier. 2020.

MARQUES, R., & MOTTA, A. C. V. (2003). Análise química do solo para fins de fertilidade. *In*: M. R. de Lima (Ed.), **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas.** 2. ed. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola.

MBACHU, O. *et al*. (2021). The rise of artificial soil carbon inputs: Reviewing microplastic pollution effects in the soil environment. **Science of the Total Environment**, 780, 146569.

MCKEAGUE, J. A. (1978). **Manual on soil sampling and methods of analysis**. Canadian Society of Soil Science.

MEHRA, O. P., & JACKSON, M. L. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *In*: **National Conference on Clays and Clay Minerals** (pp. 317–327). Pergamon Press.

NGUYEN, T. B., HO, T. B. C., HUANG, C. P., CHEN, C. W., HSIEH, S. L., TSAI, W. P., & DONG, C. D. (2021). Adsorption characteristics of tetracycline onto particulate polyethylene in dilute aqueous solutions. **Environmental Pollution**, 285, 117398.

SANTOS, H. G. *et al*. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa.

SCHMITT, D. E., GATIBONI, L. C., ORSOLETTA, D. J. D., & BRUNETTO, G. (2018). Formation of ternary organic acids-Fe-P complexes on the growth of wheat (Triticum aestivum). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 22, 702–706.

SOUZA MACHADO, A. A *et al*. (2018). Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. **Environmental Science & Technology**, 52(17), 9656–9665.

TEAM, R. CORE. (2020). R: **A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria.

WAN, Y., WU, C., XUE, Q., & HUI, X. (2019). Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. **Science of the Total Environment**, 654, 576–582.

WANG, F.; WANG, Q.; ADAMS, C. A.; SUN, Y.; ZHANG, S. Effects of microplastics on soil properties: current knowledge and future perspectives. **Journal of Hazardous Materials**, 424, 127531. 2022.

YU, Y., BATTU, A. K., VARGA, T., DENNY, A. C., ZAHID, T. M., CHOWDHURY, I., & FLURY, M. (2023). Minimal impacts of microplastics on soil physical properties under environmentally relevant concentrations. **Environmental Science & Technology**, 57, 5296–5304.

ZHANG, G. S.; ZHANG, F. X.; LI, X. T. Effects of polyester microfibers on soil physical properties: Perception from a field and a pot experiment. **Science of the Total Environment**, 670, 1-7. 2019.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM ÁREAS COM E SEM TERRACEAMENTO NO NOROESTE DO PARANÁ

Jonas de Souza Borges[1*], Rafael Ferreira El Memari[2], Guilherme Ishii Neves[3], Anny Rosi Mannigel[4], Helio Henrique Soares Franco[5]

[1] Estudante de graduação, Universidade UniCesumar de Maringá, PR, Brasil. Bolsista ICETI e Fundação Araucária no projeto da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, Maringá, Brasil. *jonasborges160@gmail.com; [2]Estudante de graduação, Universidade UniCesumar – Maringá, PR, Brasil; [3]Mestrando do Curso de Agronomia na Unicesumar, PR, Brasil. Bolsista do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; [2]Estudante de graduação, Universidade UniCesumar – Maringá, PR, Brasil [3]Mestrando do Curso de Agronomia na Unicesumar, PR, Brasil. Bolsista do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; [4]Docente Drª do Curso de Agronomia na UniCesumar, PR, Brasil. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; [5]Pós-doutorando RedeAgro/Fundação Araucária/UniCesumar. Bolsista do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI

RESUMO

A resistência do solo à penetração (RP) pode ser um fator limitante para a infiltração de água e crescimento radicular, sendo influenciada diretamente por práticas de manejo do solo. O presente estudo investigou a RP em áreas com e sem a implementação de terraços. A pesquisa foi conduzida em 2023, em uma área experimental composta por duas megaparcelas (uma manejada com terraço e a outra sem essa estrutura). Foram efetuadas determinações de RP em 36 pontos de cada megaparcela, até a profundidade de 0,60 m. Os resultados indicaram a presença de compactação subsuperficial nas duas megaparcelas. Contudo, apesar de as duas áreas apresentarem valores críticos de RP nas camadas subsuperficiais, na área com terraço foi constatada maior profundidade de penetração da haste do penetrômetro. Em contraste, na área sem terraços, a penetração da haste foi mais variável e limitada em profundidade, principalmente nos terços médio e inferior da megaparcela.

PALAVRAS-CHAVE: terraceamento agrícola; compactação do solo; solos arenosos.

INTRODUÇÃO

O terraceamento é essencial para controlar a erosão hídrica e manter a fertilidade do solo, especialmente em solos arenosos, que apresentam baixa retenção de água (Fidalski, 1998). Entretanto, embora eficaz no controle da erosão, o terraceamento não impede os danos causados por práticas inadequadas de manejo. Nesse sentido, práticas como o uso frequente de máquinas pesadas e o preparo do solo convencional, têm um impacto negativo significativo sobre a qualidade física de solos arenosos (Hamza *et al*., 2019).

O tráfego de máquinas agrícolas pode resultar na compactação do solo, reduzindo os poros e dificultando a infiltração de água e o crescimento radicular (Shaheb *et al*., 2021). Em complemento, o preparo convencional em solos arenosos, que muitas vezes envolve a aração e gradagem intensivas, pode formar camadas compactadas subsuperficiais ("pés de grade"), aumentando a resistência do solo à penetração (Hamza *et al*., 2019; Silva *et al*., 2024). Isso limita o acesso das plantas à água e nutrientes, prejudicando o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência do terraceamento agrícola na compactação de um solo arenoso, por meio de determinações de RP, em uma área cultivada com soja e milho, localizada em Cianorte-PR.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Cianorte, na Mesorregião Noroeste do Paraná, com coordenadas 23° 39' 48'' S e 52° 40' 45'' W. O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho de textura franco-arenosa (Santos *et al*., 2015). A área de estudo foi segmentada em duas megaparcelas de aproximadamente 2,0 hectares cada, ambas cultivadas com grãos. A primeira megaparcela não possui medidas mecânicas para

controle do escoamento superficial, enquanto a segunda utiliza terraços agrícolas como prática conservacionista. Em ambas megaparcelas é efetuado o manejo convencional do solo para fins de plantio.

Em novembro de 2023, foram efetuadas determinações de RP em 36 pontos distintos dentro de cada megaparcela (Figura 1). As determinações de RP foram efetuadas no mesmo dia, aproximadamente dois dias após chuva de média intensidade. Para as determinações de RP, considerou-se que o solo se encontrava em capacidade de campo. A malha de amostragem abrangeu os terços superior (TS), médio (TM) e inferior (TI) do declive (12 pontos para cada terço). As determinações foram efetuadas até a profundidade de 0,60 m, sendo analisados os valores de RP a cada 0,05 m de profundidade. Os dados foram comparados por meio de intervalos de confiança (ao nível de 95%).

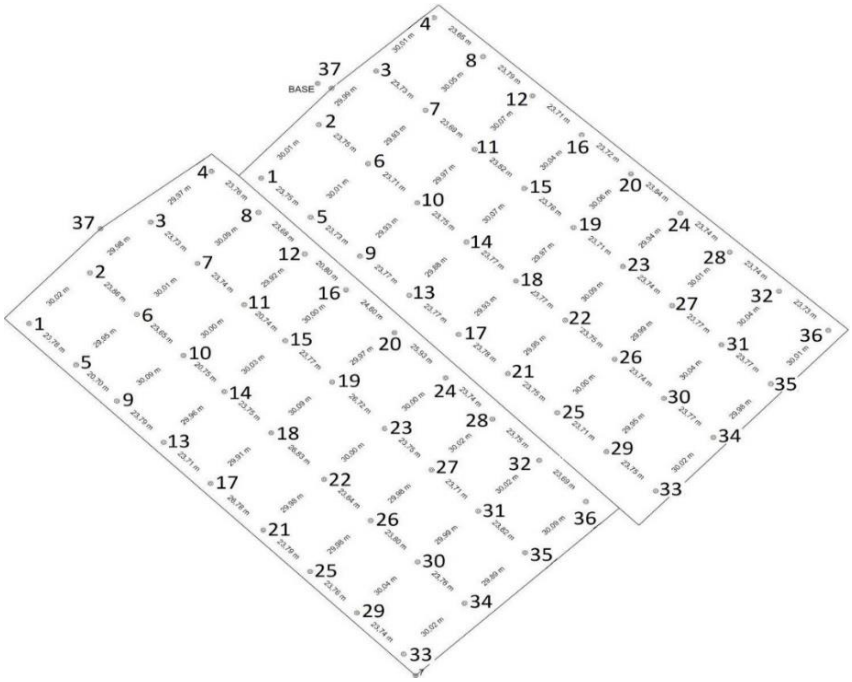


Figura 1. Malha de pontos referente às coletas realizadas nas megaparcelas, município de Cianorte-PR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A RP nas áreas com e sem terraço apresentou variação vertical ao longo do perfil de solo (Figura 2). Foram verificados valores críticos (>2,5 MPa) para esta variável entre aproximadamente 0,20m e 0,40m, indicando uma possível restrição ao crescimento radicular nessas profundidades. No entanto, foi constatado um comportamento similar nos valores de RP para TS, TM e TI em cada profundidade avaliada, indicando que esse comportamento foi homogêneo nas megaparcelas. Os maiores valores de RP em camadas subsuperficiais (Figura 2) possivelmente estão associados à compactação gerada por máquinas e implementos agrícolas utilizados na área, em acordo com Shaheb *et al*. (2021). Em complemento, a compactação do solo pode ter sido potencializada em função do manejo convencional do solo adotado. Desse modo, esse conjunto de fatores pode ter favorecido a formação de camadas subsuperficiais compactadas (“pés de grade”) tanto em ST quanto em CT.

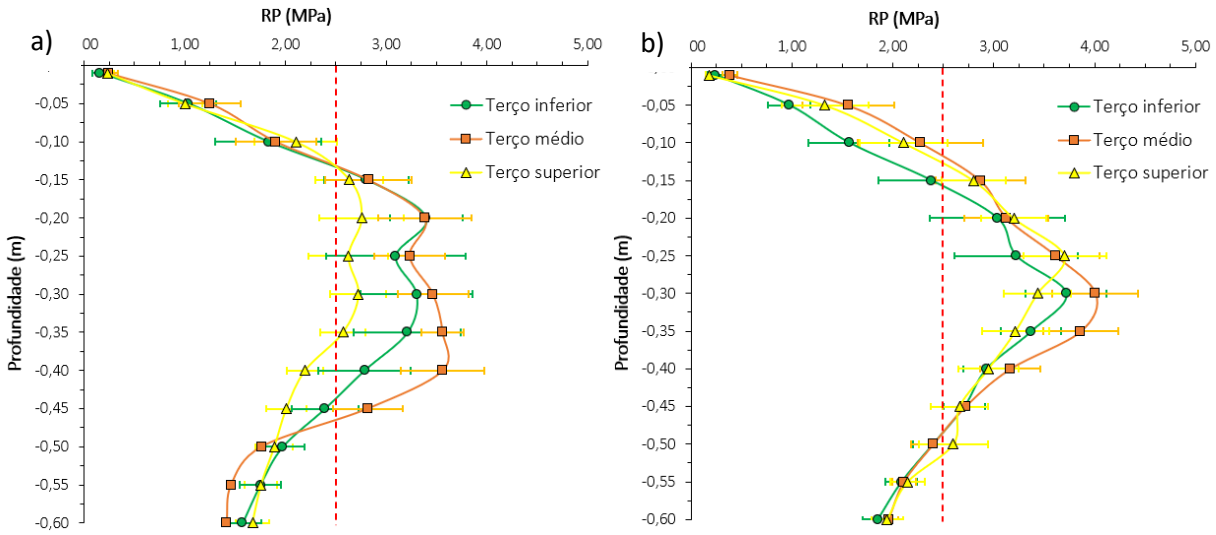


Figura 2. Comportamento da resistência do solo à penetração (RP) em: a) solo com terraço (CT) e b) solo sem terraço (ST); nos terços superior (TS), médio (TM) e inferior (TI) para as profundidades de 0-0,60 m. A linha vermelha transversal indica o limite crítico da RP utilizado comumente na literatura sobre o tema.

Apesar da constatação de valores críticos de RP em subsuperfície nas duas megaparcelas, foi verificado que a profundidade limitante para a penetração da haste do penetrômetro foi menor em ST (Figura 3). Na área com terraço observou-se maior profundidade de penetração do solo em todos os segmentos do declive (TS, TM e TS), com valores predominantemente em verde (até 0,60 m). Em contraste, a área sem terraço apresentou maior variabilidade na profundidade de penetração, especialmente no terço inferior do declive, onde predominaram valores em vermelho (até 0,20 m). A presença de impedimento físico em menores profundidades em ST, especificamente em TM e TI, possivelmente está associada à uma maior perda de solo ocorrida nessa megaparcela devido a ausência de terraços. A perda de solo pode ter contribuído para a diminuição da camada de solo acima da camada subsuperficial compactada (“pé de grade”), comprometendo a inserção da haste do penetrômetro até 0,60 m. Nesse sentido, Cerdà *et al*. (2021) constataram que a perda de solo ao longo de treze anos contribui para a degradação desse recurso natural, tendo impacto direto no processo de compactação do solo estudado.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicaram que, embora as duas megaparcelas apresentassem valores críticos de RP em camadas subsuperficiais, a presença de terraços resultou em uma maior profundidade de penetração do solo pela haste do penetrômetro. A área sem terraço apresentou maior variabilidade na profundidade de penetração (particularmente em TM e TI), apresentando maior restrição à penetração quando comparada à área terraceada.

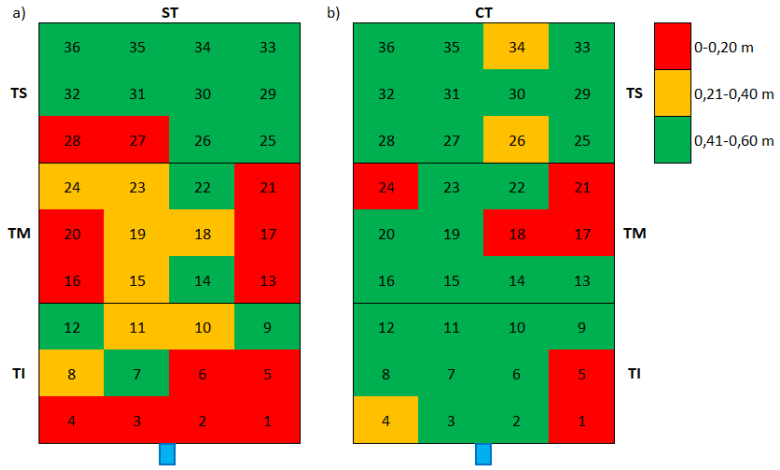


Figura 3. Profundidade de penetração da haste do penetrômetro no solo a) com terraço (CT) e b) sem terraço (ST), nos terços superior (TS), médio (TM) e inferior (TI), para as profundidades de 0-0,20 m (vermelho), 0,21-0,40 m (laranja) e 0,41-0,60 m (verde).

BIBLIOGRAFIA

CERDÀ, A.; NOVARA, A.; MORADI, E. Long-term non-sustainable soil erosion rates and soil compaction in drip-irrigated citrus plantation in Eastern Iberian Peninsula. **Science of The Total Environment**, v. 787, p. 147549, 2021.

FIDALSKI, J. Sistema de terraceamento agrícola proposto para a região noroeste do Paraná. **Acta Scientiarum**, v.20, p. 313-316, 1998.

HAMZA, M.; BRASSEUR, B.; SPICHER, F.; GALLET-MORON E.; BURIDANT, J.; KOBAISSI, A.; HOREN, H. (2019). Physical recovery of forest soil after compaction by heavy machines, revealed by penetration resistance over multiple decades. **Forest Ecology and Management**, v. 449, p. 1-10, 2019.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa: SBCS, 2015. 102 p.

SHAHEB, M. R.; VENKATESH, R.; SHEARER, S. A. A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 46, p. 417–439, 2021.

SILVA, R. C.; MCBEATH, T. M.; ANTILLE, D. L.; THOMAS, M.; MACDONALD, L. M. Reversible strengthening behaviour of subsurface layers in sandy soils – understanding variable response to strategic deep tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 237, 105981, 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO EM DIFERENTES GRAUS DE COMPACTAÇÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO

Pedro Ruben Viera Fariña[1*], Guilherme de Souza Sotsek[2], Kaline Aparecida Wagner[3], Eduarda Camile de Lima[4], André Carlos Auler[5]

[1]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, *e-mail: pedroviera@ufpr.br, [2]Mestrando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [3]Doutoranda PPG em Ciências do solo, UFPR, [4]Graduanda em Agronomia, UFPR, [5]Professor, UFPR.

RESUMO

A compactação de solo é comum em práticas agrícolas, onde a pressão aplicada reduz os espaços porosos, dificultando a passagem de água, ar e raízes. Este estudo avaliou a resistência à penetração (RP) sob diferentes graus de compactação e doses de P_2O_5 em plantio direto. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do Canguiri (UFPR), com delineamento em blocos aleatorizados e parcelas subdivididas (4×4), totalizando 48 unidades experimentais. A compactação foi induzida pelo tráfego de trator, e as doses de P_2O_5 variaram de 0 a 150 kg ha^{-1}. Os resultados mostraram que a RP aumentou com a compactação, sendo mais pronunciada nas camadas mais profundas. A RP pós-feijão foi elevada em solos com maior compactação, ao contrário do milho, que apresentou RP menor nas camadas superficiais. Esses resultados destacaram a importância do manejo adequado do solo, especialmente nas camadas profundas.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; rotação de culturas; degradação física do solo.

INTRODUÇÃO

A compactação de solo é um fenômeno cada vez mais comum, associado ao uso intensivo de equipamentos agrícolas, sendo reconhecida como uma das principais ameaças à agricultura sustentável na atualidade. A compactação mecânica do solo leva à perda de macroporos e da conectividade dos poros, podendo-se atribuir seus efeitos à compressão vertical e ao cisalhamento lateral (Schjønning *et al.,* 2015; Keller *et al.,* 2019). O grau de compactação e a diminuição do volume dos poros dependem da força aplicada, assumindo-se que o conteúdo de água do solo permaneça constante (Chen *et al*., 2014; Nunes *et al*., 2015). Assim, a compactação pode reduzir a infiltração de água, aumentar a resistência à penetração de raízes, impactar negativamente na absorção de água e nutrientes pelas plantas e, finalmente, restringir o crescimento das culturas (Bengough *et al.,* 2011; Poeplau *et al.,* 2016). O peso do rodado tem forte influência na compactação do subsolo, enquanto a pressão de insuflagem dos pneus e a área de contato afetam principalmente a camada superficial do solo (Batey, 2009). A compactação excessiva causa efeitos indesejáveis na qualidade física do solo que podem levar à redução da produtividade das culturas, pois diminui o crescimento radicular e o desenvolvimento das plantas. Além disso, pode interagir com condições climáticas adversas, agravando os efeitos negativos na produção agrícola (Tnawaz *et al.,* 2013). Por exemplo, o rendimento de trigo caiu em 16,4% com o aumento do número de passadas do trator, e o aumento da compactação resultou em diminuição do tamanho das raízes, maior concentração de raízes na parte superior do solo, menor profundidade de enraizamento e maior distância entre raízes próximas, o que contribuiu para a redução da produtividade (Patel *et al*., 2020).

A necessidade de intervenções para correção da compactação vem se tornando frequente em áreas sob sistema de plantio direto (Nunes *et al.,* 2015). No campo, as culturas frequentemente enfrentam uma combinação de estresses físicos e nutricionais; embora a resposta das plantas à compactação do solo ou à deficiência de fósforo tenha sido estudada individualmente, pouca atenção foi dada à interação entre esses fatores na determinação do desempenho vegetal. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência à penetração ao longo do tempo sob diferentes graus de compactação do solo e doses de P_2O_5, em sistema de plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Canguiri, em Pinhais-PR (25º 23' S; 49º 08' O), num sCambissolo Háplico Distrofico Tb típico, com relevo moderadamente ondulado, textura argilosa e presença de cascalho. O clima local é subtropical úmido (Cfb) (ÁLVARES *et al*., 2013). Com baixos níveis de fósforo disponível (P) e sem restrições físicas, considerando que estes foram mais favoráveis à adubação fosfatada e à compactação do solo. O experimento foi iniciado na safra de verão 2022, em campo, sob delineamento experimental de blocos aleatorizados em esquema de parcela subdividida (4×4), com três repetições. Os tratamentos dispostos nas parcelas experimentais foram quatro níveis de grau de compactação (GC) do solo: Natural (GC=80±2%), Leve (GC = 85±2%), Moderada (GC = 90±2%) e Alta (GC = 95±2%), induzidas pelo tráfego de um trator agrícola (CASE 165 de 10.500 kg). Os níveis de compactação do solo foram definidos através da curva de compactação do solo, por meio do teste de Proctor (ASTM, 1992), identificando os valores de densidade máxima do solo e umidade ótima de compactação. Nas subparcelas, foram aplicadas as doses de P_2O_5 (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}), em sulco, por ocasião da semeadura das culturas, utilizando o superfosfato triplo como fonte (SFT). Os demais fertilizantes (N e K_2O) foram aplicados homogeneamente e manualmente em superfície, de acordo a análise química do solo e a necessidade da cultura (PAULETTI e MOTTA, 2019).

A rotação de culturas realizada incluiu Milho, Trigo, Mix, Feijão, Azevém e Soja. As medições da resistência à penetração foram efetuadas no longo do experimento depois de cada cultura a primeira avaliação de RP foi feita após Milho, a segunda após Trigo e a terceira após feijão, utilizando o penetroLOG Falker, a uma profundidade de 0- 30 cm.

Foram executados testes de normalidade dos resíduos e homoscedasticidade. Atendidas as preposições, os dados foram submetidos à análise de variância, sendo aplicado o teste de Tukey para comparar os efeitos dos GC, todas as análises foram feitas com o auxílio do software R (R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resistência à penetração (RP) variou ao longo das culturas e das diferentes camadas do solo. Em ordem crescente, os valores médios de RP foram: pós-milho (1,5 MPa), pós-trigo (1,8 MPa) e pós-feijão (acima de 2,5 MPa). Na camada de 0–0,10 m (Figura 1a), a RP foi menor em comparação com as camadas mais profundas, embora, mesmo nesta camada superficial, a RP pós-feijão tenha superado 2 MPa. Na camada de 0,10–0,20 m (Figura 1b), observou-se um aumento na RP, principalmente após o cultivo do feijão, atingindo valores próximos de 2,5 MPa. Na camada de 0,20–0,30 m (Figura 1c), a RP permaneceu elevada, especialmente nos tratamentos com graus de compactação (GC) de 85% e 95%, evidenciando acúmulo de compactação ao longo do experimento. Esses resultados indicam que o solo tende a compactar-se progressivamente, especialmente nas camadas mais profundas e sob a cultura do feijão, possivelmente em razão de seu sistema radicular e do tráfego mecânico.

A RP aumentou proporcionalmente ao grau de compactação, sendo mais acentuada nos níveis de 90% e 95%. Esse efeito foi mais evidente nas camadas mais profundas, sugerindo a formação de camadas compactadas com o tempo. Após o cultivo do milho, a maior RP foi registrada na camada de 0,20–0,30 m, especialmente nos tratamentos com GC de 85% e 95% (Figura 2a). Após o cultivo do trigo, a distribuição da RP foi mais uniforme entre as camadas, indicando o possível efeito do sistema radicular do trigo na melhoria da estrutura do solo (Figura 2b). Já após o cultivo do feijão, a RP se manteve elevada em todas as

profundidades, principalmente nos solos com compactação de 90% e 95%, demonstrando a menor capacidade dessa cultura em atenuar a compactação do solo (Figura 2c).

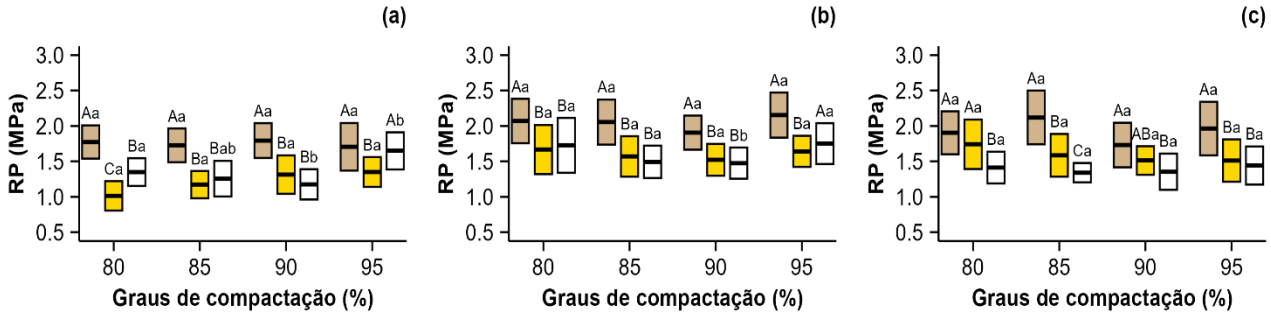


Figura 1: Resistencia penetração (RP), pós milho, pós trigo e pós feijão, em relação aos graus de compactação e as doses de P_2O_5 nas camadas **(a)** 0-0,10 m, **(b)** 0,10-0,20 m e **(c)** 0,20-0,30 m.

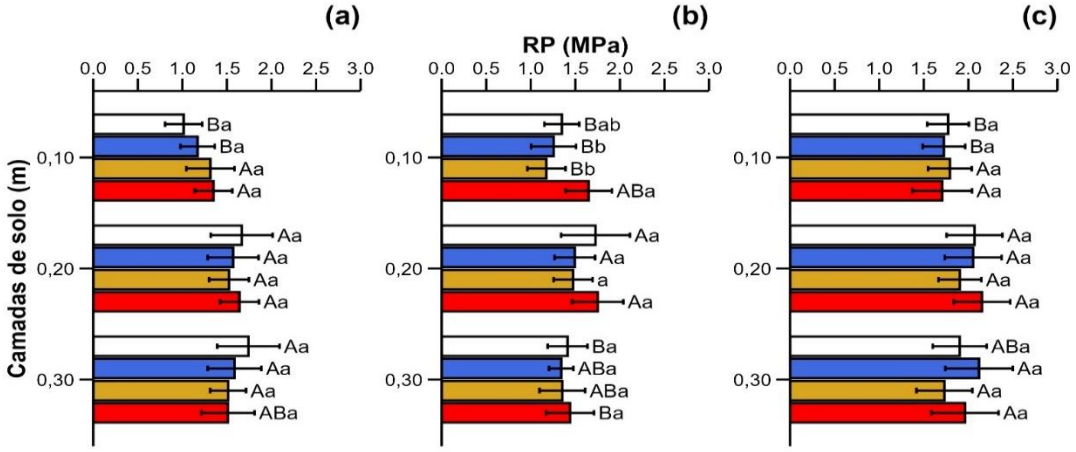


Figura 2: Resistencia a penetração RP, em diferentes graus de compactação do solo e profundidades de 0-0,30 m, **(a)** pós Milho, **(b)** pós Trigo, **(c)** pós Feijão.

A resistência à penetração (RP) é um indicador da compactação do solo, influenciada pelo manejo agrícola, umidade e tipo de sistema radicular (Bengough *et al*., 2011). Neste estudo, observou-se aumento progressivo da RP com a compactação, especialmente nas camadas de 10–20 cm e 20–30 cm, após o cultivo do feijão, resultado do tráfego agrícola e da arquitetura radicular. Valores superiores a 2 MPa, considerados limitantes para o crescimento radicular (BUSSCHER *et al*., 2000), foram registrados nos tratamentos mais compactados, indicando restrição potencial ao desenvolvimento das plantas. Esses achados corroboram Beutler e Centurion (2004) e Sá *et al*. (1999), que relatam compactação mais severa em camadas subsuperficiais sob cultivo contínuo. O milho apresentou menores valores de RP em todas as profundidades, provavelmente pela ação de seu sistema radicular fasciculado, que favorece a estruturação do solo (Chen *et al.,* 2014). Já o feijão, com sistema radicular pivotante, mostrou maior RP, indicando maior susceptibilidade à compactação (Silva *et al.,* 2014). Resultados semelhantes foram relatados por Ribeiro *et al.* (2018), reforçando que a ausência de práticas conservacionistas eleva a compactação do solo ao longo do tempo.

CONCLUSÕES

A resistência à penetração (RP) do solo aumentou com o grau de compactação e foi mais elevada nas camadas mais profundas, especialmente após o cultivo do feijão. Esse efeito progressivo da compactação

reforça a necessidade de estratégias de manejo para minimizar seus impactos negativos no desenvolvimento das culturas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à CAPES e à BECAL (NOTA PNB N° 1605/2020) pela concessão das bolsas de estudo. À PRPPG (UFPR) pelos Editais de Apoio à Pesquisa (Editais 06/21 e 04/23) pelo financiamento do Projeto. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, M. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. ***Meteorologische Zeitschrift***, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BATEY, Tom. Soil compaction and soil management–a review. **Soil use and management**, v. 25, n. 4, p. 335-345, 2009.

BENGOUGH, A. Glyn *et al*. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of experimental botany**, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.

BEUTLER, A. N., & CENTURION, J. F. Resistência à penetração em Latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. ***Ciência Rural***, *34*, 1793-1800, 2004.

BUSSCHER, W. J.; FREDERICK, J. R.; BAUER, P. J. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 3, p. 999-1003, 2000.

CHEN, G. *et al*. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. **Soil and Tillage Research**, v.136, p. 61-69, 2014.

KELLER, THOMAS *et al*. "Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning." **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104293, 2019.

LI, Z. *et al*. Phosphate starvation of maize inhibits lateral root formation and alters gene expression in the lateral root primordium zone. **BMC plant biology**, v. 12, n. 1, p. 1-17, 2012.

NAWAZ, Muhammad Mohsin *et al*. Field traffic-induced soil compaction under moderate machine-field conditions affects soil properties and maize yield on sandy loam soil. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1002943, 2023.

NUNES MR. *et al*. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. **Geoderma,** p. 259–260, 149–155, 2015.

PAULETTI, V; MOTTA, A. C. V. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. 2. ed. Curitiba: Editora Cubo, v. 1, p. 289, 2019.

POEPLAU, C. *et al*. Opposing effects of nitrogen and phosphorus on soil microbial metabolism and the implications for soil carbon storage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 100, p. 83-91, 2016.

PATEL, S. K.; MANI, I.; SUNDARAM, P. K. *Effect of subsoil compaction on rooting behavior and yields of wheat*. **Journal of Terramechanics**, v. 92, n. 1, p. 43–50, 2020.

RIBEIRO, Marco Aurélio Vitorino *et al*. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1157-1164, 2010.

SCHJØNNING, P. *et al*. Upper subsoil pore characteristics and functions as affected by field traffic and freeze–thaw and dry–wet treatments. **Soil Research**, v. 55, n. 3, p. 234-244, 2016

SILVA D, A. *et al*. Efficiency in the use of phosphorus by common bean genotypes. **Scientia. Agricola**. v.71, n.3, p. 232-239, 2014.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO INFLUENCIADA POR SISTEMAS DE CULTIVO EM SEMEADURA DIRETA ORGÂNICA

Patricia Juana Colmán Ribelatto[1*], Edleusa Pereira Seidel[2], Luane Laíse Oliveira Ribeiro[3]
[1]Estudante de doutorado, Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná. [2]Professor, Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná. [3]Pós-doutoranda do Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná. *pattycolm@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivo sobre a resistência a penetração do solo, em semeadura direta orgânica. Avaliou-se a resistência a penetração do solo em quatro sistemas de cultivo: Sistema I: Soja, milho safrinha, soja e milho safrinha; Sistema II: Soja, Aveia branca para grãos, soja e mix de plantas de cobertura; Sistema III: Milheto, Trigo, Soja e mix de plantas de cobertura; Sistema IV: Feijão, Milheto/Trigo, milho e Nabo forrageiro/Aveia branca. Os dados foram analisados pela ANOVA a 5% de significância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os sistemas de cultivos não influenciaram a resistência à penetração do solo na camada superficial nem nas camadas mais profundas do solo. Nas camadas intermediárias, os sistemas de cultivo que incluíam mix de plantas de cobertura e nabo forrageiro apresentaram os menores valores de resistência a penetração.

PALAVRAS-CHAVE: manejo; rotação de cultura; qualidade física do solo.

INTRODUÇÃO

A agroecologia abrange princípios de métodos de produção agrícola que aprimoram os sistemas ecológicos, envolvendo a reciclagem de nutrientes, melhoria dos solos e a intensificação das interações entre os diversos componentes (Brandão *et al*., 2022). Entre os sistemas de manejos, o plantio direto se destaca pela busca da sustentabilidade dos sistemas agrícolas através da conservação dos atributos do solo. Fundamentando-se em três pilares fundamentais, o não revolvimento do solo, uso de rotação de culturas e manutenção da cobertura do solo (Silva *et al*., 2009).

A rotação de culturas promove a diversificação das espécies de culturas e a melhoria do solo. Essa prática contribui para manter ou aumentar os níveis de matéria orgânica, criar bioporos, melhorar a estrutura e garantir uma cobertura adequada de palha na superfície do solo. A formação de bioporos pela atividade radicular e da mesofauna do solo, juntamente com a capacidade das raízes de algumas culturas de penetrar em camadas mais compactadas, são razões pelas quais a rotação de culturas é considerada fundamental no manejo dos atributos do solo (Andrade *et al*., 2009).

Neste contexto, as culturas de cobertura do solo têm um potencial significativo para melhorar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (Rigon *et al*., 2020). No entanto, esse potencial varia de acordo com as espécies de plantas utilizadas e com a quantidade de matéria seca adicionada ao solo, influenciando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Cassol *et al*., 2023).

Entre as propriedades físicas, a resistência à penetração está diretamente relacionada à compactação do solo, podendo explicar as dificuldades de desenvolvimento das plantas (Silva *et al*., 2020). Este atributo permite a detecção de camadas compactadas e o monitoramento das alterações ao longo dos horizontes (Reichert *et al*., 2010). Neste trabalho espera-se verificar se o sistema de cultivo em semeadura direta orgânica, com maior número de rotação de culturas, resulta em menor resistência do solo a penetração.

A resistência à penetração é uma das propriedades que permite analisar as alterações no solo ao longo do tempo, decorrentes do seu manejo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho e avaliar o efeito de diferentes sistemas de cultivos sobre a resistência do solo a penetração, em semeadura direta orgânica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área agroecológica da Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando do Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná (CVT), situado no município de Entre Rios do Oeste-PR, pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus Marechal Cândido Rondon-PR (UNIOESTE/MCR). As coordenadas geográficas são 24º40'32, 66" de latitude Sul e 54º16'50,46" de longitude Oeste, a 244 metros de altitude.

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico, textura muito argilosa, com relevo suave ondulado (Santos *et al*., 2018). De acordo com a classificação climática de Köppen, a região possui um clima subtropical úmido mesotérmico (Cfa), caracterizado por verões quentes com temperaturas médias superiores a 22ºC, invernos com temperaturas médias e inferiores a 18ºC e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600-1800 milímetros (Caviglione *et al*., 2000).

Foram avaliadas cinco áreas (Tabela 1) manejadas com diferentes rotações de culturas em sistema de semeadura direta orgânica.

Tabela 1. Rotação de culturas realizadas em quatro safras nas áreas agroecológicas do Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná (CVT).

Sistemas de cultivo	Época			
	2021/2022 Verão	2022/2022 inverno	2022/2023 Verão	2023/2023 Inverno
Sistema I (Khatounian)	Soja	Milho safrinha	Soja	Milho safrinha
Sistema II (Costa Beber)	Soja	Aveia branca para grãos	Soja	Mix de plantas de cobertura
Sistema III (Primavesi)	Milheto	Trigo	Soja	Mix de plantas de cobertura
Sistema IV (Wohlleben)	Feijão	Milheto/Trigo	Milho	Nabo forrageiro/Aveia branca

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos (sistemas de manejo). Em cada sistema de manejo foram demarcados cinco pontos, cada ponto representou uma repetição. A resistência do solo à penetração foi determinada dentro de cada área, utilizando um penetrômetro digital da marca Falker®, com profundidade máxima da haste até 0,40 m. Para a análise dos dados foi considerado a média aritmética das leituras a cada 0,05 m de profundidade, sendo que os dados obtidos foram transformados para a unidade de MPa. A umidade média do solo em cada área foi de 13%. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância para o teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ANOVA constatou que houve interação significativa entre os sistemas de manejo e as profundidades, demostrando que o efeito dos sistemas de cultivo sobre a resistência a penetração varia em cada camada do solo. Conforme a classificação de Arshad *et al.,* (1997), os valores de resistência à penetração dos diferentes sistemas de manejo, apresentados na Tabela 2, variam da classe baixa (0,2 MPa) a alta (3,3 MPa).

Tabela 2. Resistência a penetração do solo em diferentes sistemas de cultivo de áreas agroecológicas do Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná.

Profundidade	Sistemas de Manejo			
	Sistema I (Khatounian)	Sistema II (Costa Beber)	Sistema III (Primavesi)	Sistema IV (Wohlleben)
-------cm-------	----------MPa----------			
0 a 5	0,3 Ad	0,2 Ad	0,2 Ae	0,6 Ac
5 a 10	2,4 Abc	2,3 ABbc	1,7 Bcd	2,6 Aa
10 a 15	3,3 Aa	3,0 ABab	3,3 Aa	2,5 Bab
15 a 20	3,1 Aa	3,1 Aa	2,9 Aab	2,5 Aab
20 a 25	2,6 ABab	2,8 Aab	2,3 ABbc	2,1 Bab
25 a 30	2,4 ABbc	2,6 Abc	1,9 ABcd	1,8 Bb
30 a 35	2,2 Abc	2,0 Ac	1,6 Acd	1,8 Ab
35 a 40	1,9 Ac	1,9 Ac	1,4 Ad	1,8 Aab

Sistema I (Khatounian): Soja, milho safriña, soja e milho safrinha; Sistema II (Costa Beber): Soja, Aveia branca para grãos, soja e mix de plantas de cobertura; Sistema III (Primavesi): Milheto, Trigo, Soja e mix de plantas de cobertura; Sistema IV (Wohlleben): Feijão, Milheto/Trigo, milho e Nabo forrageiro/Aveia branca. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na mesma profundidade, e médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de tukey (P ≤ 0,05).

Na profundidade de 0-5 cm, observam-se os menores valores de resistência à penetração, que é similar em todos os sistemas de cultivo. Indicando que, independentemente do manejo adotado, não há diferenças na resistência à penetração na camada superficial do solo. Na camada **entre 0 e 15 cm, verifica-se um gradiente crescente de resistência à penetração,** alcançando seu pico em 3,3 MPa, na profundidade de 10-15 cm. Este comportamento pode estar influenciado pelo tráfego de maquinarias, e também, pelo alto teor de argila do solo. Pereira *et al*., (2002) ao analisar a compactação em diferentes sistemas de cultivo em um solo argiloso, verificaram que a resistência à penetração aumentava com o aumento da profundidade, o que é uma característica comum em solos com elevados teores de argila, como é o da área utilizada em este experimento.

Na profundidade de 5-10 cm, os Sistema II (Soja, Aveia branca para grãos, soja e mix de plantas de cobertura) e III (Milheto, Trigo, Soja e mix de plantas de cobertura) apresentaram a menor resistência a penetração do solo, com 2,3 e 1,7 MPa, respectivamente. Neste caso, o mix de plantas de cobertura presente em ambos sistemas pode ter contribuído para amenizar a resistência do solo a penetração.

Já na camada de 10-15 cm, a menor resistência foi observada no Sistema II (Soja, Aveia branca para grãos, soja e mix de plantas de cobertura) e no Sistema IV (Feijão, Milheto/Trigo, Milho e Nabo Forrageiro/Aveia Branca) com 3,0 MPa e 2,5 MPa. O nabo forrageiro, que compõe o sistema IV, conforme o descrito por Calegari e Costa (2009), possui um sistema radicular pivotante e profundo, capaz de penetrar em camadas compactadas, propiciando a formação de bioporos e melhoraria da qualidade física do solo.

A partir de 15 cm de profundidade, a resistência a penetração manteve-se em níveis moderados a altos. Na camada de 15-20 cm, não houve diferenças significativas entre os sistemas de manejo. Na profundidade de 20-30 cm, os sistemas I, III e IV apresentaram as menores resistência a penetração, variando de 1,8 e 2,8 MPa. A partir dos 30 cm, os valores começaram a decrescer, porém sem diferenças significativas entre os sistemas de manejo.

CONCLUSÕES

Os sistemas de cultivos não influenciaram a resistência à penetração do solo na camada superficial e nem nas camadas mais profundas do solo. Nas camadas intermediárias, os sistemas de cultivo que incluíam mix de plantas de cobertura e nabo forrageiro apresentaram os menores valores de resistência a penetração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para o desenvolvimento do projeto de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, R. DA S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. DA. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 411–418, 2009.

ARSHAD, M.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. **Methods for assessing soil quality**, v. 49, p. 123–141, 1997.

BRANDÃO, A. F. *et al*. Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas Agroecológicos no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, 16 fev. 2022.

CALEGARI, A.; COSTA, A. Manutenção da cobertura melhora atributos do solo. **Revista Visão Agrícola**, n. 9, p. 13–16, 2009.

CASSOL, C. *et al*. Residual biomass quality index: a tool for conservation agriculture. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 47, 2023.

CAVIGLIONE, J. H. *et al*. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

PEREIRA, J. O. *et al*. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 171–174, abr. 2002.

REICHERT, J. *et al*. Mecânica do solo. **Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 29–102, 2010.

RIGON, J. P. G.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CALONEGO, J. C. Soil aggregation and potential carbon and nitrogen mineralization with cover crops under tropical no-till. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 5, p. 601–609, 2020.

SANTOS, H. G. DOS *et al*. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ta. ed. Brasilia: Embrapa, 2018.

SILVA, A. A. D. *et al*. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Ceres**, v. 56, n. 4, 2009.

SILVA, T. A. C. DA *et al*. Avaliação Da Qualidade De Solo De Área De Lixão Desativado: Uma Revisão De Literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 630–640, 7 abr. 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

USO DE PLANTAS DE COBERTURA E ESCARIFICAÇÃO NA REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

João Pedro Matoso Martins[1*], Fabrício Tondello Barbosa[2], Heverton Fernando Melo[3]
[1]Estudante de graduação; [2]Professor; [3]Pesquisador de Pós-doutorado; Universidade Estadual de Ponta Grossa.
*matosoj109@gmail.com

RESUMO

A compactação do solo afeta as suas propriedades físicas, o crescimento das raízes e a produção vegetal. Objetivou-se avaliar o uso de plantas de cobertura combinadas com a presença ou ausência do preparo mecânico sobre a resistência do solo à penetração (RP). O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso cultivado em plantio direto que apresentava sinais de compactação, sendo os tratamentos formados pela combinação de dois métodos de preparo do solo (com e sem escarificação) e quatro cultivos de plantas de cobertura de inverno (aveia preta e três consórcios). A escarificação combinada com as plantas de cobertura reduziu a RP e o efeito permaneceu até o período de 120 dias. O uso de plantas de cobertura sem escarificação reduziu a RP, embora com efeito menor do que quando combinada com a escarificação, sendo os consórcios mais eficientes do que a aveia preta cultivada isoladamente.
PALAVRAS-CHAVE: plantio direto; manejo do solo; consórcio de espécies; compactação.

INTRODUÇÃO

A compactação é uma forma de degradação física do solo resultante do rearranjo das suas partículas em decorrência de uma pressão e/ou esforço contínuo, ocasionando aumento da densidade e diminuição da porosidade do solo (Silva e Cabeda, 2006). Em áreas agrícolas, a compactação resulta da intensificação dos sistemas de produção bem como pelo aumento do peso do maquinário agrícola e do tráfego na área, muitas vezes realizado em condições inadequadas de umidade do solo (Keller *et al.,* 2022).

Essa condição física do solo altera a sua estrutura, resultando no aumento da densidade e da resistência à penetração (RP), na redução da aeração e da infiltração de água, além de prejudicar o crescimento e desenvolvimento das plantas em decorrência do impedimento mecânico ao crescimento radicular (Shaheb *et al.,* 2021).

A prática mecânica de descompactação do solo pode ser realizada por implementos, como escarificadores, os quais atingem até aproximadamente 0,3 m de profundidade e resultam no rompimento de camadas compactadas, proporcionando aumento da rugosidade em superfície bem como da porosidade total do solo, redução da densidade e RP e aumento da infiltração de água no solo (Camara e Klein, 2005; Silva *et al.,* 2015).

A descompactação biológica do solo ocorre através do uso de plantas de cobertura dotadas de sistemas radiculares pivotantes e fasciculados agressivos, que exploram diferentes profundidades do solo. Essas raízes promovem a formação de bioporos, aumentando a capacidade hídrica do solo e a absorção de nutrientes pelas culturas subsequentes, além de melhorar a estabilidade dos agregados do solo. Ainda, o dossel vegetativo e os resíduos vegetais resultantes das plantas de cobertura protegem o solo contra a energia da chuva, e servem como uma barreia física a oscilação da temperatura e, no caso dos resíduos vegetais, dissipam parcialmente a pressão exercida pelo trânsito de máquinas (Santos *et al.,* 2014; Carvalho *et al.,* 2022).

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes plantas de cobertura sobre a resistência do solo à penetração e verificar se essas plantas podem potencializar a persistência das condições físicas do solo induzidas pela escarificação mecânica quando combinadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), situada na região dos Campos Gerais/PR, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa cultivado em plantio direto que apresentava sinais de compactação pela elevada resistência mecânica do solo à penetração (> 2.500 kPa). O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (dois blocos e duas repetições por bloco), em esquema de parcelas subdivididas em faixas, sendo que os tratamentos foram formados pela combinação de dois métodos de preparo do solo e quatro cultivos de plantas de cobertura de inverno (Tabela 1).

Tabela 1. Esquema que compõe os tratamentos formados pela combinação de preparo mecânico (com e sem escarificação) e quatro cultivos de plantas de cobertura do solo.

Preparo mecânico	Plantas de cobertura do solo
"Com" e *"Sem"* escarificação do solo	Aveia preta (*Avena strigosa* Schreb).
	Consórcio 1: Aveia branca cv. IPR Esmeralda (*Avena sativa* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), centeio cv. serrano (*Secale cereale* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.).
	Consórcio 2: Aveia branca cv. IPR Esmeralda (*Avena Sativa L.*), centeio cv. serrano (*Secale cereale L.*), ervilha forrageira (*Pisum sativum ssp. arvense*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus L*).
	Consórcio 3: Aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), ervilhaca comum *cv*. SS combate (*Vicia sativa*), ervilhaca peluda *cv.* SS esmeralda (*Vicia vilosa*), e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L).

As parcelas de cultivo tinham dimensões de 8,0 m de comprimento e 3,6 m de largura e as faixas, dentro de cada bloco, estavam alocadas no sentido contrário ao comprimento das parcelas, onde em uma das faixas foi mantida sem preparo, enquanto na outra foi realizada a escarificação do solo antes da semeadura dos cultivos. Para isso, foi realizado o preparo mecânico com um escarificador de cinco hastes acoplado ao trator, sendo realizada a mobilização do solo na profundidade de aproximadamente 0,3 m.

A instalação do experimento ocorreu no cultivo de inverno de 2023, e a semeadura das plantas de cobertura foi realizada com uso de uma semeadora de parcelas e espaçamento entre linhas de 0,19 m. As proporções utilizadas estão descritas na Tabela 2, com as seguintes quantidades de sementes: Aveia preta: 60 kg ha $^{-1}$; Consórcio 1: 50 kg ha $^{-1}$; Consórcio 2: 40 kg ha $^{-1}$; e Consórcio 3: 50 kg ha $^{-1}$.

Tabela 2. Proporções, em quantidade de sementes, das espécies que compõem os cultivos de plantas de cobertura.

Cultivo	Proporção das espécies componentes
Aveia preta	100% aveia preta
Consórcio 1	50% aveia branca e preta; 25% nabo forrageiro; 25% centeio
Consórcio 2	50% ervilha forrageira; 20% aveia branca; 20% centeio; 10% nabo forrageiro
Consórcio 3	50% ervilhaca comum e peluda; 40% aveia preta; 10% nabo forrageiro

Antes da implantação das culturas (junho de 2023) e no final do ciclo das plantas (novembro de 2023) foi avaliada a RP na camada de 0-0,4 m. Utilizou-se um penetrômetro eletrônico modelo FALKER® PenetroLOG-PLG1020, configurado para realizar leituras a cada 0,05 m de profundidade. As avaliações foram

realizadas com o solo em condição próxima à capacidade de campo, aguardando-se um período de três dias após uma chuva para drenagem do excesso de água. Para processamento dos dados utilizou-se o Software PenetroLOG.

Os dados de RP foram analisados por meio estatística descritiva através da média e do erro padrão da média ao longo do perfil do solo, e comparados com o limite crítico de 2.500 kPa para o crescimento radicular (Lal, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores de RP no início do experimento, na profundidade avaliada de 0 a 40 cm. A prática mecânica da escarificação reduziu a RP quando comparado com a RP inicial da área.

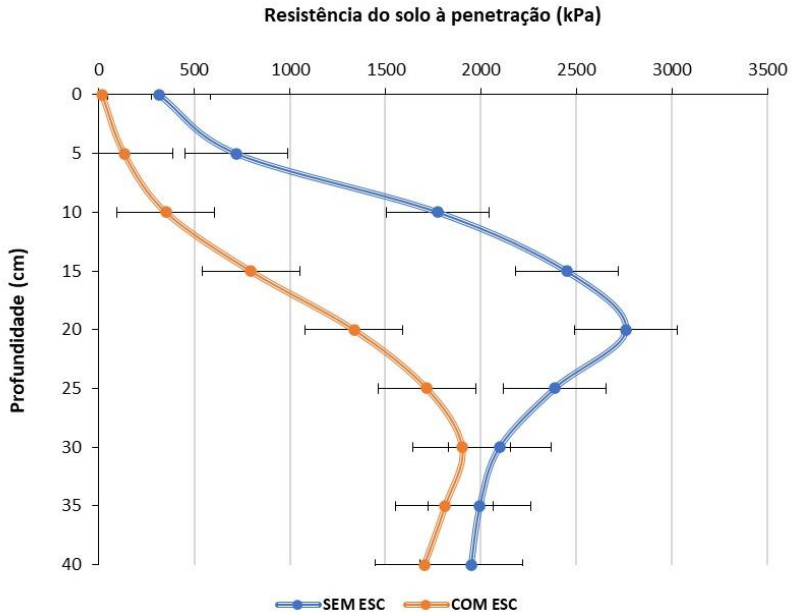


Figura 1. Valores médios ± erro-padrão da RP inicial da área (SEM ESC) e após a escarificação mecânica (COM ESC) na camada de 0 a 40 cm.

Segundo Lal (1999), valores de RP superiores a 2.500 kPa são considerados críticos, indicando uma limitação extrema ao crescimento radicular da maioria das culturas. Dessa forma, a área antes do processo de escarificação (SEM ESC) apresentava, na camada entre 15 e 25 cm, condições que dificultavam o desenvolvimento das raízes.

Após a escarificação (COM ESC), observou-se que essa prática reduziu os valores de RP ao longo de toda a camada de 0 a 40 cm, com efeito mais pronunciado até os 25 cm, demonstrando que a escarificação pode romper camadas compactadas ou adensadas superficiais e subsuperficiais (Tormena *et al.,* 2002). Entretanto, a persistência dos efeitos da escarificação é muito variável, tendendo a reduzir com o passar do tempo, dependendo de fatores como o clima, o uso de maquinário agrícola e o manejo adotado (Camara e Klein, 2005; Nicoloso *et al.,* 2008).

Na Figura 2 são apresentados os valores de RP ao longo da camada de 0 a 40 cm, avaliados após o ciclo das culturas, além dos valores anteriores ao preparo e implantação das culturas. Todos os tratamentos de plantas de cobertura associados ao preparo mecânico (COM ESC) apresentaram valores inferiores ao limite crítico de 2.500 kPa para o crescimento radicular. Os maiores valores ficaram abaixo de 2.000 kPa. Portanto,

o efeito combinado do uso de plantas de cobertura com a escarificação do solo demonstrou eficiência na redução da compactação do solo, com persistência do efeito após 120 dias do preparo.

O manejo apenas com as plantas de cobertura e sem o preparo também reduziu a RP em relação à condição inicial da área, embora com efeito menor do que quando combinado com a escarificação. Na ausência de preparo, os consórcios de plantas reduziram a RP para abaixo do limite crítico de 2.500 kPa na camada de 15 a 25 cm, enquanto a aveia preta, cultivada isoladamente, apresentou valores próximos ao limite crítico, o que pode restringir o desenvolvimento radicular das culturas subsequentes. Tendo em vista isso, a utilização de plantas de cobertura, especialmente os consórcios com sistemas radiculares diversificados, atenuam a RP em solo compactado na ausência da escarificação (Nicoloso *et al.,* 2008).

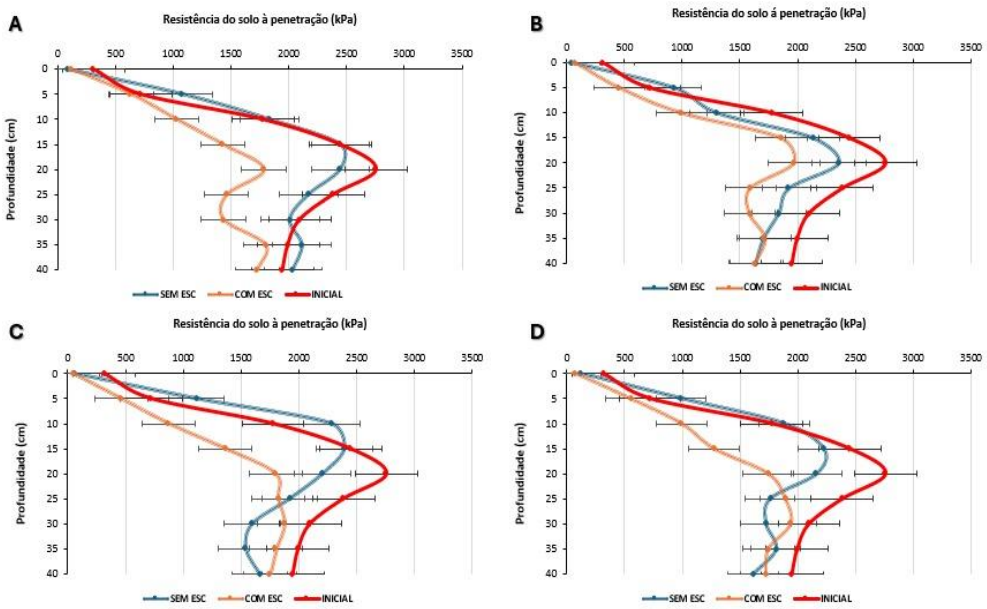


Figura 2. Valores médios ± erro-padrão da RP ao final do ciclo dos cultivos, na camada de 0 a 40 cm, para os tratamentos de plantas de cobertura associados ou não à escarificação, além da RP inicial da área. SEM ESC: solo manejado apenas com plantas de cobertura; COM ESC: solo manejado com plantas de cobertura e escarificação. (A) Aveia preta; (B) Consórcio 1; (C) Consórcio 2; (D) Consórcio 3.

CONCLUSÕES

A escarificação mecânica do solo reduziu a RP em relação a condição inicial da área e, sua combinação com o uso de plantas de cobertura, manteve os valores da RP abaixo do limite crítico até o final do experimento, após 120 dias. O uso de plantas de cobertura, sem preparo mecânico, reduziu a RP em comparação à condição inicial da área, embora com efeito menor do que quando combinada com a escarificação. Os consórcios foram mais eficientes do que a aveia preta cultivada isoladamente.

BIBLIOGRAFIA

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 789-796, 2005.

CARVALHO, M. L. *et al*. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos filotécnicos e impactos sobre a saúde do solo** [recurso eletrônico]; Piracicaba: ESALQ-USP, 126 p. 2022.

KELLER, T. *et al*. Soil compaction due to agricultural field traffic: An overview of current knowledge and techniques for compaction quantification and mapping. *In:* SALJNIKOV, E. *et al*. **Advances in Understanding Soil Degradation**. Springer, p.287-312, 2022.

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p.

NICOLOSO, R. S. *et al*. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1735-1742, 2008.

SANTOS, F. S. *et al*. A utilização de plantas de cobertura na recuperação de solos compactados. **Acta Iguazu**, v. 3, p. 82-91, 2014.

SHAHEB, M. R. *et al*. A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 46, p. 1-23, 2021.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 921-930, 2006.

SILVA, R. P. D. *et al*. **Compactação do solo, escarificação e subsolagem**. Material didático do curso de Zootecnia. Jaboticabal: UNESP, 2015. 10p.

TORMENA, C. A. *et al*. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, p. 795-801, 2002.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

VESS E CURVA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO: INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

Samienta Charles[1*], Esmailson Moreira dos Santos[1], Cezar Augusto Medeiros Rebouças[2], Rachel Muylaert Locks Guimarães[3]

[1]Pós-graduando(a), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. [2]Pós Doutorando, UTFPR. [3]Professora Associada, Departamento de Ciências Agrárias, UTFPR. [*]samienta@alunos.utfpr.edu.br

RESUMO

O método de Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS) tem se mostrado muito eficiente na distinção da qualidade do solo sob manejos distintos. No entanto, o conteúdo de água do solo pode interferir na precisão das análises. Este estudo teve como objetivo determinar a faixa ideal de conteúdo de água para a aplicação do método VESS em solo muito argiloso. Foram realizados 11 tratamentos (dias consecutivos após saturação), com 4 repetições. Avaliaram-se a qualidade estrutural (*Qe*), o conteúdo volumétrico de água (θ) e a resistência do solo à penetração (RP). Os resultados indicaram que o θ ideal para a aplicação do método VESS varia de 0,36 a 0,38 $m^3\ m^{-3}$, correspondente a uma RP entre 2,5 a 3,0 MPa. Conclui-se que o melhor momento para aplicar o método VESS ocorreu entre o quinto e o sétimo dia após a saturação.

PALAVRAS-CHAVE: avaliação visual; compactação; qualidade do solo.

INTRODUÇÃO

Os métodos de avaliação visual do solo são rápidos, simples e de baixo custo em comparação aos métodos laboratoriais tradicionais, que, apesar da precisão, podem ser inacessíveis devido ao alto custo e tempo demandado (Emmet-Booth *et al.*, 2016; Ball *et al.*, 2017). Nos últimos anos, esses métodos têm sido amplamente utilizados para diagnosticar as alterações na estrutura do solo e apoiar o manejo adequado (Ball; Munkholm; Batey, 2013).

O método VESS tem se mostrado eficiente na distinção da qualidade estrutural do solo sob diferentes manejos e avaliando resistência a ruptura, formato, tamanho e porosidade dos agregados. No entanto, o conteúdo de água pode influenciar sua aplicação, pois afeta a fragmentação dos agregados, tornando solos argilosos altamente plásticos quando úmidos e coesos quando secos, dificultando a identificação e a delimitação das unidades estruturais (Ball *et al.*, 2017).

Diante desse problema, observa-se que o conteúdo de água, pode mascarar os resultados da avaliação visual pelo método VESS, comprometendo a tomada de decisão no manejo do solo. Assim, este estudo tem como objetivo determinar a faixa mais adequada do conteúdo de água para aplicação do método VESS, garantindo maior precisão na atribuição de notas em solos argilosos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco, em um solo muito argiloso. Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso (DIC), com 11 tratamentos e 4 repetições, sendo os tratamentos correspondentes aos diferentes dias de avaliação após a saturação do solo.

Em cada dia, foi aberta uma trincheira com aproximadamente 0,25 m de profundidade, 0,10 m de espessura e 0,20 m de largura, para avaliação visual da estrutura do solo pelo método VESS, utilizando uma carta ou chave visual, conforme Guimarães *et al.* (2011). Avaliaram-se o formato, tamanho e resistência dos agregados, além da presença de poros e raízes. As notas atribuídas variaram de 1 (boa qualidade) a 5 (pior qualidade). Na mesma trincheira, coletaram-se amostras indeformadas com anéis volumétricos. As amostras foram niveladas e pesadas para obtenção da massa úmida e submetidas à resistência à penetração (RP) com

um penetrômetro eletrônico. Após secagem das amostras em estufa a 105°C durante 48 h, calculou-se o conteúdo de água.

A normalidade e a homogeneidade da variância foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em seguida, aplicou-se análise de variância, e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) utilizando o software RStudio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Faixa ótima do conteúdo de água para a avaliação visual

Nos primeiros dias de avalição, o conteúdo de água foi mais elevado, resultando em valores mais baixos de *Qe* em comparação aos demais dias. A abertura das trincheiras para a extração das amostras foi relativamente fácil nesse período.

À medida que o solo foi secando, os valores de *Qe* aumentaram progressivamente, atingindo entre 4,00 e 5,00 nos últimos dias de avaliação. Durante o experimento, o solo permaneceu descoberto, o que favoreceu a secagem da camada superficial (0-5 cm), levando a um *Qe* mais elevado nessa camada em relação à subsuperficial, devido à maior taxa de evaporação em comparação a solos cobertos (Freitas *et al.*, 2006; Chabat, 2010; Murga-Orrilho *et al*., 2016).

Para a aplicação do método *VESS*, o solo deve estar em consistência friável, pois, fora dessa faixa, a atribuição de notas pode ser comprometida. Quando o θ é superior a 0,38 $m^3\ m^{-3}$, os testes de resistência dos agregados ficam prejudicados, sendo que outros aspectos da carta de avaliação do método devem ser considerados para que a análise seja realizada de forma adequada. À medida que o solo perde água e o θ atinge valores entre 0,38 e 0,36 $m^3\ m^{-3}$, ele entra na faixa adequada para avaliação, permitindo a realização dos testes de resistência dos agregados, contribuindo para a confirmação das notas pelo método VESS. Por outro lado, quando o θ é inferior a 0,36 $m^3\ m^{-3}$, o solo se torna seco, dificultando a fragmentação dos agregados e a avaliação.

Resistência do solo à penetração

Em relação ao θ, observou-se que, à medida que o solo seca, ocorre um aumento acentuado da RP. A faixa do θ adequada para avaliação pelo método VESS corresponde a uma RP de 2,50 a 3,00 MPa, superior ao limite crítico de 2,00 MPa indicando por Tormena, Silva e Libardi (1998) como restritivo ao desenvolvimento das plantas. No entanto, valores semelhantes de RP foram relatados por Tormena *et al.* (2007) ao avaliar o intervalo hídrico ótimo (IHO) em um Latossolo, com RP crítica de 3,50 MPa.

CONCLUSÕES

Em um Latossolo Vermelho Distroférrico muito argiloso, o momento adequado para a avaliação pelo método VESS é entre o quinto e sétimo dia após uma chuva de 50 mm. A faixa ideal do conteúdo de água coincide com uma resistência à penetração de 2,5 a 3,0 Mpa para uma qualidade estrutural 4.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudos (Código de Financiamento 001); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [Processo 428579/2016–7].

BIBLIOGRAFIA

BALL, B.C.; GUIMARÃES, R.M.L.; CLOY, J.M.; HARGREAVES, P.R.; SHEPHERD, T.G.; MCKENZIE, B.M. Visual soil evaluation: A summary of some applications and potential developments for agriculture. **Soil and Tillage Research**, v. 173, p. 114-124, 2017.

BALL, B.C.; MUNKHOLM, L.J.; BATEY, T. Applications of visual soil evaluation. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 1-2, 2013.

CHABAT, M.M. **Influência dos resíduos vegetais na superfície do solo na dinâmica de evaporação da água e temperatura do solo**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Uruguai, 2010.

EMMET-BOOTH, J.P.; FORRISTAL, P.D.; FENTON, O.; BALL, B.C.; HOLDEN, N.M. A review of visual soil evaluation techniques for soil structure. **Soil Use and Management**, v. 32, p. 623-634, 2016.

FREITAS, P.S.L.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, L.C. Influência da cobertura de resíduos de culturas nas fases da evaporação direta da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 104-111, 2006

GUIMARÃES, R.M.L.; BALL, B.C.; TORMENA, C.A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 395-403, 2011.

MURGA-ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ABANTO-RODRIGUEZ C.; SAKAZAKI, R. T.; BARDALES-LOZANO R. M.; POLO-VARGAS, A. R. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, p. 352-364, 2016.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 211-219, 2007.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

COMPACTAÇÃO DE SOLO E ADUBAÇÃO FOSFATADA: EFEITO NO RENDIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO FEIJÃO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Eduarda Camile de Lima[1], Luís Eduardo Nacle David[2], Pedro Ruben Viera Fariña[3], Guilherme de Souza Sotsek[4], André Carlos Auler[5*]

[1]Graduanda em Agronomia, UFPR, [2]Graduando em Agronomia, UFPR, [3]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Mestrando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [5]Professor, UFPR, email: auler@ufpr.br.

RESUMO

A compactação do solo, causada pelo uso inadequado de máquinas agrícolas em condições de umidade desfavoráveis, tem limitado a produção agrícola. Além disso, a baixa disponibilidade de fósforo também interfere no desenvolvimento das plantas. Este estudo teve como objetivo, avaliar o desenvolvimento fisiológico e morfológico do feijão sob diferentes graus de compactação do solo e doses de P_2O_5. O experimento foi conduzido em campo, com delineamento em parcelas subdivididas e três repetições. Foram definidos quatro graus de compactação (GC): 80, 85, 90 e 95%, além de quatro doses de P_2O_5 (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}). Avaliaram-se, massa seca, produtividade de grãos e acúmulo de fósforo na parte aérea. A maior dose de P_2O_5 aumentou a massa seca em até 71,5% no solo com alta compactação. A produtividade cresceu até 200% com 150 kg ha^{-1} de P_2O_5, mostrando que a adubação fosfatada reduz os efeitos da compactação.
PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; fósforo; resistência mecânica do solo.

INTRODUÇÃO

A compactação do solo é um dos principais fenômenos responsáveis pela degradação da qualidade física do solo na agricultura (BLANCO-CANQUI & RUIS,2018), sendo associado ao aumento do uso intensivo de maquinários agrícolas de grande porte, ocasionando a desestruturação entre macro e micro poros (KELLER *et al*., 2019). Com isso, esse fenômeno impacta na infiltração e redistribuição de água, afetando no desenvolvimento do sistema radicular podendo limitar a absorção de nutrientes, prejudicando diretamente no desenvolvimento das plantas (PEZZONI *et al*., 2014; SALAZAR *et al*.,2022).

A baixa disponibilidade de fósforo nos solos brasileiros também é um fator chave que limita a produção agrícola. A preocupação com a condição física de solos compactados aliado a fertilização de P foi levantada entre as décadas de 80 a 90 (HOFFMANN; JUNGK, 1995; NADIAN *et al.,* 1997; SHIERLAW; ALSTON, 1984), encontrando-se, porém, resultados diversos sobre a interação entre os dois fatores. A partir dos anos 2000, alguns pesquisadores buscaram a obtenção das relações entre adubação fosfatada e compactação do solo sobre o desenvolvimento das plantas (SILVA *et al.,* 2018; VALADÃO *et al.,* 2015), porém as respostas continuaram controversas, pois poucos consideram os efeitos sobre todos os atributos do solo.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos combinados dos incrementos do grau de compactação do solo e da dose de P_2O_5 sobre o rendimento e desenvolvimento do feijão comum.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Canguiri, em Pinhais-PR (25º 23’ S; 49º 08’ O), num solo Cambissolo Háplico Distrofico Tb típico, com relevo moderadamente ondulado, textura argilosa e presença de cascalho. O clima local é subtropical úmido (Cfb) (ÁLVARES *et al*., 2013). Utilizou-se um delineamento experimental de blocos aleatorizados (DBC), em esquema de parcela subdividida (4×4), com três repetições, totalizando 48 parcelas. Os tratamentos nas parcelas consistiram em quatro graus de compactação do solo (Natural: 80±2%; Leve: 85±2%; Moderada: 90±2%; Alta: 95±2%), induzidos pelo tráfego de um trator agrícola (CASE PUMA 165) com pneus diagonais, bitola traseira de 1,7 m e massa de 10,5 Mg. O tráfego ocorreu a 5 km h^{-1} e 1.800 rpm. Os níveis de compactação foram determinados pela curva de

compactação do solo, utilizando o teste de Proctor (ASTM, 1992). A compactação foi realizada em novembro de 2022. Nas subparcelas, aplicaram-se doses de P_2O_5 (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}) na semeadura, utilizando superfosfato triplo, seguindo a recomendação para o estado do Paraná (PAULETTI e MOTTA, 2019). A adubação com N e K_2O foi homogênea e manual, conforme análise do solo e necessidade da cultura. Em janeiro de 2024, semeou-se feijão comum. No estádio R7-R8, amostrou-se a parte aérea de 3 fileiras de 1 metro por parcela, secou-se em estufa (65 ºC por 72 h) para obter a massa seca (kg ha^{-1}). Os dados de produtividade, massa seca e P acumulado foram analisados por ANOVA, após testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). Interações significativas foram desdobradas. Para o fator compactação, aplicou-se o teste de Tukey, e para as doses de fósforo, análise de regressão no R 4.0.5 (R CORE TEAM, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de massa seca do feijão aumentou com as doses de P_2O_5 nos graus de compactação (Figura 1a). Houve efeito quadrático para os GC de 80 e 85%, e linear para o GC de 90%. A maior produção (3,539 kg ha^{-1}) foi no GC de 85% com 100 kg ha^{-1} de P_2O_5. Pela regressão ajustada (Figura 1b), a dose de máxima eficiência agronômica nesse GC seria de aproximadamente 85 kg ha^{-1} de P_2O_5, equivalente a 175–190 kg ha^{-1} de SFT. A produção de massa seca diminuiu com o aumento da compactação na dose de 100 kg ha^{-1} (Figura 1a), indicando que a compactação pode reduzir a resposta da planta ao fósforo. Resultado semelhante foi observado por Ribeiro *et al.* (2010), que verificou menor massa seca da parte aérea da soja com aumento da densidade do solo, mesmo com aplicação de P_2O_5, devido à limitação do crescimento radicular.

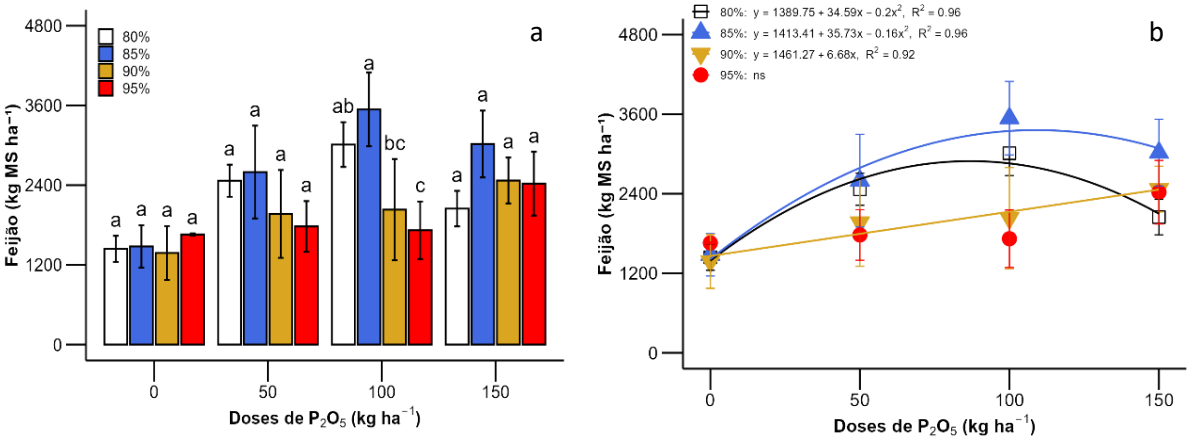


Figura 1: Produção de massa seca de feijão (kg ha^{-1}) **(a)** em função aos graus de compactação e doses de P_2O_5 kg ha^{-1}, **(b)** em função as doses de P_2O_5 kg ha^{-1}. Fazenda Canguiri 2024.

Houve maior acúmulo de P na planta nas doses de 50 e 100 kg ha^{-1}, com variações entre os graus de compactação do solo. Na dose de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5, os GC de 85 e 95% apresentaram maior acúmulo de P em relação aos GC de 80 e 90%. Já com 100 kg ha^{-1}, os GC de 80 e 85% foram estatisticamente iguais e superiores aos GC de 90 e 95% (Figura 2a). O maior acúmulo (8,4kg ha^{-1}) ocorreu nos GC de 80 e 85%, também com 100 kg ha^{-1} de P_2O_5. Houve aumento gradual no acúmulo de P nos GC de 90 e 95% com o incremento das doses (Figura 2b). Esses resultados são esperados, pois na ausência de compactação o desenvolvimento radicular é favorecido e a dose aplicada é a recomendada para a cultura (PAULETTI; MOTTA, 2019).

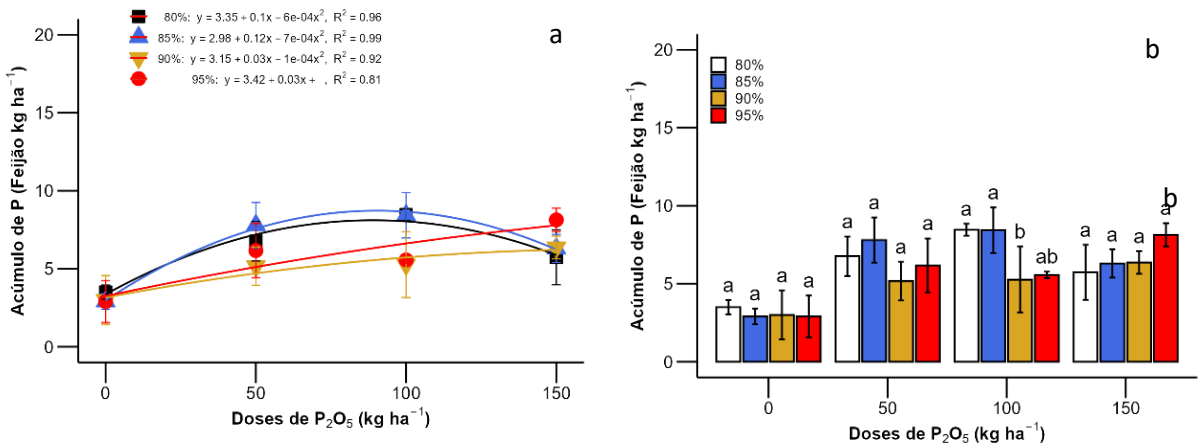


Figura 2: Fosforo acumulado kg ha^{-1}, **(a)** em função aos graus de compactação e doses de P_2O_5 kg ha^{-1}, **(b)** em função as doses de P_2O_5 kg ha^{-1}. Fazenda Canguiri 2024.

Houve incremento na produtividade do feijão com o aumento das doses de P_2O_5, com diferenças significativas entre os graus de compactação (Figura 3a). Nos GC de 80, 85%, observou-se um comportamento linear (Figura 3b). Nos GC de 85, 90 e 95%, a maior produtividade ocorreu com 100 e 150 kg ha^{-1} de P_2O_5. Em GC de 90 e 95%, o aumento das doses elevou a produtividade em 2.576 kg ha^{-1}, representando 200%. Isso indica que, embora seja possível atenuar os efeitos da compactação com o aumento da adubação fosfatada, os custos de produção também se elevam, corroborando Santos *et al.* (2005).

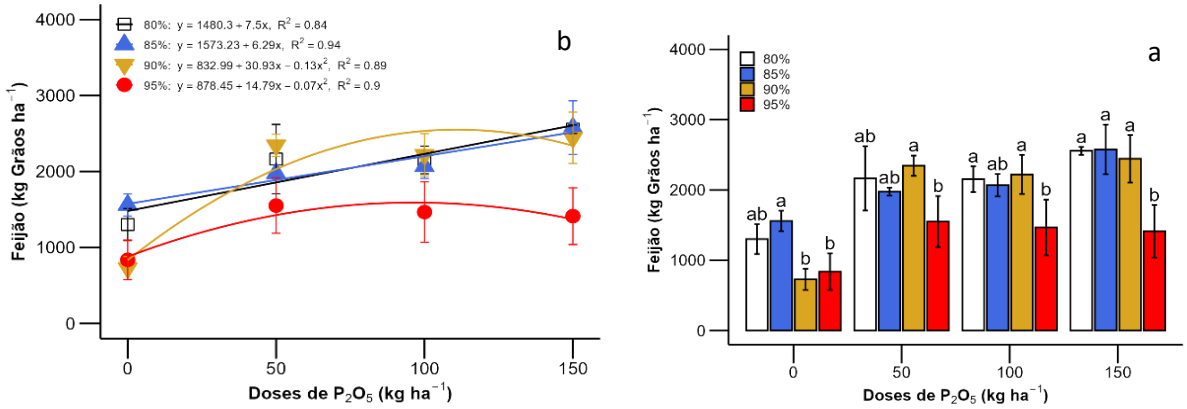


Figura 3. Produtividade kg ha^{-1}, **(a)** em função aos graus de compactação e doses de P_2O_5 kg ha^{-1}, **(b)** em função as doses de P_2O_5 kg ha^{-1}. Fazenda Canguiri 2024.

CONCLUSÕES

A eficiência da adubação fosfatada é reduzida com aumento da compactação do solo. Assim, para manter a produção e a absorção adequada de fósforo em solos com alta compactação, são necessárias maiores doses de P_2O_5. Deste modo, pensando na economicidade dos sistemas produtivos, a compactação deve ser evitada, pois além dos seus efeitos deletérios sobre as plantas, ela exige maior demanda de insumos para a produção.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e à BECAL (NOTA PNB N° 1605/2020) pela concessão das bolsas de estudo. À PRPPG (UFPR) pelos Editais de Apoio à Pesquisa (Editais 06/21 e 04/23) pelo financiamento do Projeto. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, M. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p. 164–200, 2018.

HOFFMANN, C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**, v. 176, n. 1, p. 15–25, 1995.

KELLER, T. *et al.* Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104293, 2019.

NADIAN, H. *et al.* Effects of soil compaction on plant growth, phosphorus uptake and morphological characteristics of vesicular–arbuscular mycorrhizal colonization of *Trifolium subterraneum*. **New Phytologist**, v. 135, n. 2, p. 303–311, 1997.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Editora Cubo, 2019. v. 1, 289 p.

PEZZONI FILHO, J. C. *et al.* Compactação de um Cambissolo Háplico causada pela extração florestal com trator skidder. **Cerne**, v. 20, p. 199–208, 2014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

RIBEIRO, M. A. V. *et al.* Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1157–1164, 2010.

SALAZAR, J. R. Z. *et al.* **Uso de substratos pós-cultivo de cogumelos de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) na recuperação da fertilidade de um Luvissolo degradado**. 2022. [S.l.: s.n.].

SANTOS, G. A. *et al.* Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 29, p. 740–752, 2005.

SHIERLAW, J.; ALSTON, A. M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. **Plant and Soil**, v. 77, p. 15–28, 1984.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; SOUZA, C. M. Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciados pela compactação de dois latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, p. 619–624, 2008.

VALADÃO, F. C. *et al.* Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 183–195, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO AFETADA PELA COMPACTAÇÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Querolem Maria de Jesus[1], Pedro Ruben Viera Fariña[2], Roberta Morais Mendes[1], Guilherme de Souza Sotsek[2], André Carlos Auler[3*]

[1*]Graduanda em Agronomia, UFPR, [2]Mestrando PPG em Ciência do Solo, [3]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Professor, UFPR. Email: robertamorais@ufpr.br.

RESUMO

A estrutura do solo é um fator importante para o crescimento das plantas, e a densidade deste se revela como um dos principais impedimentos para o desenvolvimento de raízes. O objetivo foi avaliar a Condutividade Hidráulica Saturada (KSAT) de um solo sob sistema plantio direto em quatro níveis de compactação (variando do solo não compactado até um alto grau de compactação) e 4 doses de adubação fosfatada (0, 50, 100 e 150 kg de P_2O_5 ha^{-1}), após o cultivo de milho e feijão. Após o cultivo de milho os efeitos compactação de solo sobre a KSAT pode ser mitigado com a aplicação de de 50 kg de P_2O_5 em níveis de compactação leve (85%) e moderada (90%), mais superficialmente, até 10 cm de profundidade. Após o cultivo de feijão, evidenciou-se que são necessárias maiores doses de P_2O_5 para aumentar a KSAT nas camadas mais superficiais.

PALAVRAS-CHAVE: permeâmetro de carga decrescente; fertilidade do solo; conservação do solo.

INTRODUÇÃO

A compactação é uma das principais causas de degradação física dos solos agrícolas, resultante da pressão exercida por máquinas, implementos ou pisoteio animal levando a redução da porosidade, condutividade hidráulica e difusão de agua e gases (Richart *et al*., 2005; Soane *et al*., 1981). Associada a baixa cobertura vegetal e ao reduzido aporte de matéria orgânica, afetando negativamente o crescimento das plantas (Richart *et al*., 2005). A condutividade hidráulica saturada (Ksat) é um parâmetro essencial para a compreender o movimento da água no solo, sendo influenciada por textura, estrutura, matéria orgânica e grau de compactação do solo (Hillel, 1998). Em sistemas como o Plantio Direto (SPD), a compactação pode reduzir a permeabilidade, comprometendo a dinâmica da água no solo (Torres; hora, 2013).

A adubação fosfatada, além de suprir a demanda nutricional das culturas, estimula o crescimento radicular, favorecendo a descompactação do solo e melhorando sua (Novais *et al*., 2007; Pavinato). Assim, seu uso pode contribuir para a mitigação dos efeitos da compactação do solo, especialmente em sistemas conservacionistas como o SPD (Silva, 2009). Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a condutividade hidráulica saturada (Ksat) em diferentes níveis de compactação do solo e doses de adubação fosfatada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do Canguiri, em Pinhais-PR (25º23' S; 49º08' O), em um Cambissolo Háplico Distrófico Tb de textura argilosa, relevo moderadamente ondulado e presença de cascalho. O clima é subtropical úmido (Cfb) (ÁLVARES *et al*., 2013). Utilizou-se delineamento de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas (4×4), com três repetições, totalizando 48 parcelas. As parcelas receberam quatro níveis de compactação do solo (Natural: 80±2%; Leve: 85±2%; Moderada: 90±2%; Alta: 95±2%), induzidos por tráfego de trator agrícola (CASE PUMA 165, 10,5 Mg) a 5 km h^{-1}, definidos pela curva de compactação do solo (ASTM, 1992). A compactação ocorreu em novembro de 2022.

Nas subparcelas aplicaram-se doses de P_2O_5 (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}) via superfosfato triplo, conforme recomendação do Paraná (PAULETTI e MOTTA, 2019), além de adubação homogênea com N e K_2O.

Milho e feijão foram cultivados sob SPD, entre dezembro/2022–abril/2023 e janeiro–abril/2024, respectivamente, com espaçamento de 45 cm. Após cada cultivo, amostras indeformadas foram coletadas nas camadas de 0–5, 5–10 e 10–20 cm para determinação da Ksat, utilizando permeâmetro de carga decrescente (REYNOLDS *et al*., 2002).

Os dados de Ksat foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett), seguidos de ANOVA. Interações significativas foram desdobradas, com comparação de médias por Tukey (compactação) e regressão (doses de fósforo), utilizando o software R 4.0.5 (R CORE TEAM, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A KSAT após milho, apresentou interação significativas entre os tratamentos. Na camada de 0-5 cm, nos GC de 95 % a Ksat foi maior até doses dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentando uma média de 17,49 mm h^{-1}, (Figura 1a). No grau de compactação de 80 % a Ksat teve um comportamento linear ao aplicar doses de P_2O_5. (Figura 1b).

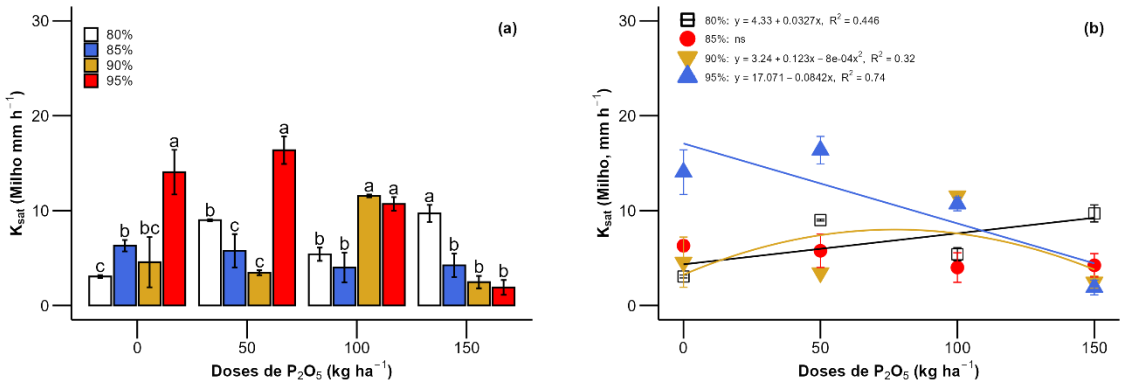


Figura 1. Ksat em milho (mm h^{-1}) em função a graus de compactação (a), e doses de P_2O_5.

Na camada de 5–10 cm, houve interação significativa, com maior Ksat no GC de 80% (Figura 2a); nesse GC, a aplicação de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 resultou em 34,9 mm h^{-1} (Figura 2b).

Após o feijão, na camada de 0–5 cm, o GC de 80% apresentou maior Ksat (70,91 mm h^{-1}) (Figura 3a), e a aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 elevou a Ksat nos GCs de 80% e 95% (Figura 3b). Na camada de 5–10 cm, a Ksat foi superior nos GCs de 80% e 85% (Figura 4a). No GC de 80%, houve aumento linear com as doses de P_2O_5; no GC de 85%, a Ksat decresceu com a adubação (Figura 4b). Na camada de 10–20 cm, a maior Ksat ocorreu nos GCs de 80% e 90% com 50 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 (22,8 e 30,7 mm h^{-1}) (Figura 5a). No GC de 80% observou-se resposta linear positiva, e no GC de 85%, linear negativa (Figura 5b).

A condutividade hidráulica saturada (Ksat) é sensível às alterações na estrutura do solo, especialmente à redução dos macroporos provocada pela compactação (Hamza e Anderson, 2005). A compactação causada pelo tráfego de máquinas ou pela pressão de implementos agrícolas diminui significativamente a continuidade dos poros, resultando em queda acentuada da Ksat (Keller *et al*., 2019; Nawaz *et al*., 2013).

A formação de camadas adensadas restringe o movimento da água, aumentando o risco de encharcamento superficial e limitando o suprimento hídrico às raízes em profundidade.

CONCLUSÕES

Após o milho, a aplicação de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 mitigou a compactação e aumentou a Ksat até 10 cm de profundidade em compactação leve (85%) e moderada (90%). Após o feijão, foram necessárias doses

maiores para melhorar a Ksat na superfície. Em ambos os cultivos, não houve efeito da adubação sobre a Ksat na camada de 10–20 cm.

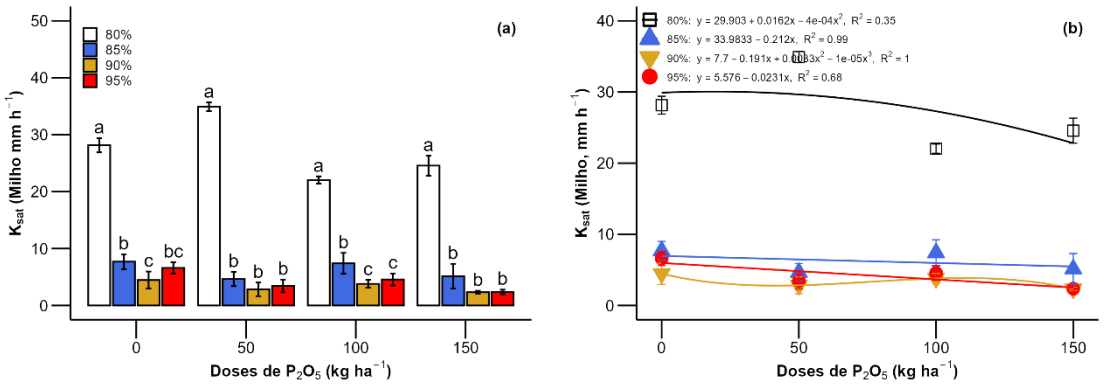


Figura 2. Ksat em Milho (mm h^{-1}) em função a graus de compactação de solo (a), e doses de P_2O_5.

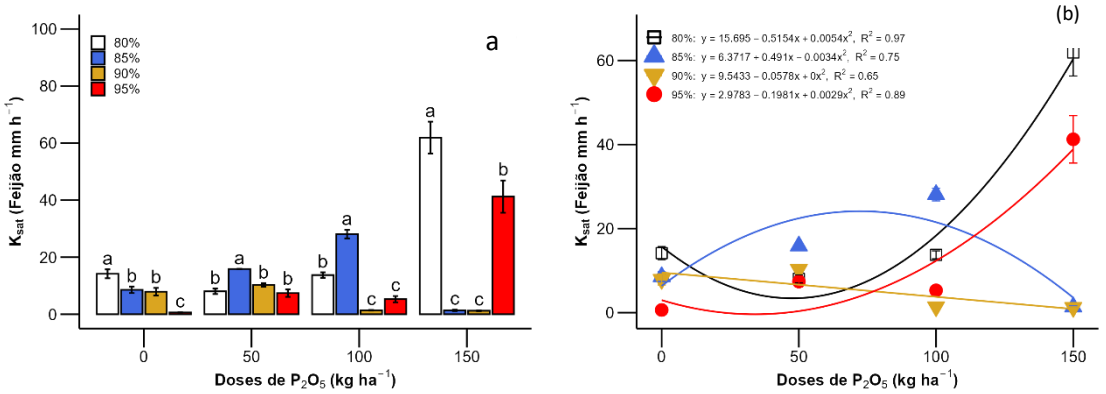


Figura 3. ksat em Feijão (mmh-1) em função a graus de compactação de solo (a) e doses de P_2O_5 (b).

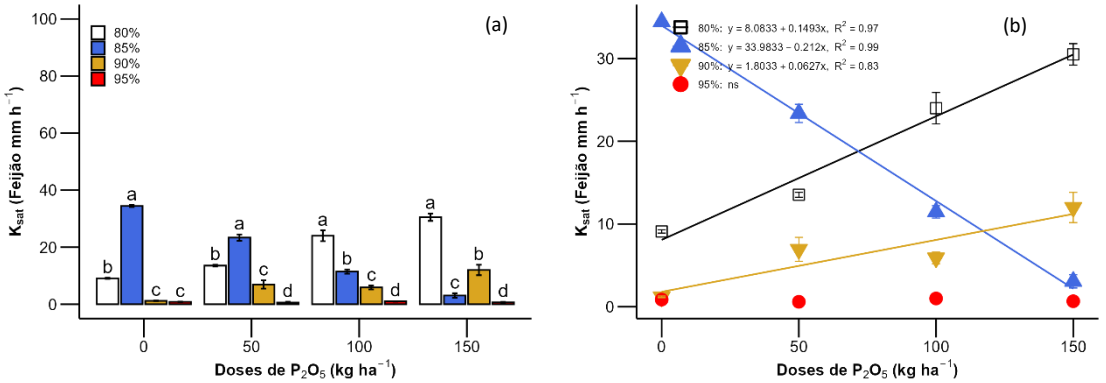


Figura 4: ksat em Feijão (mmh-1) em função a graus de compactação de solo (a) e doses de P2O5 (b).

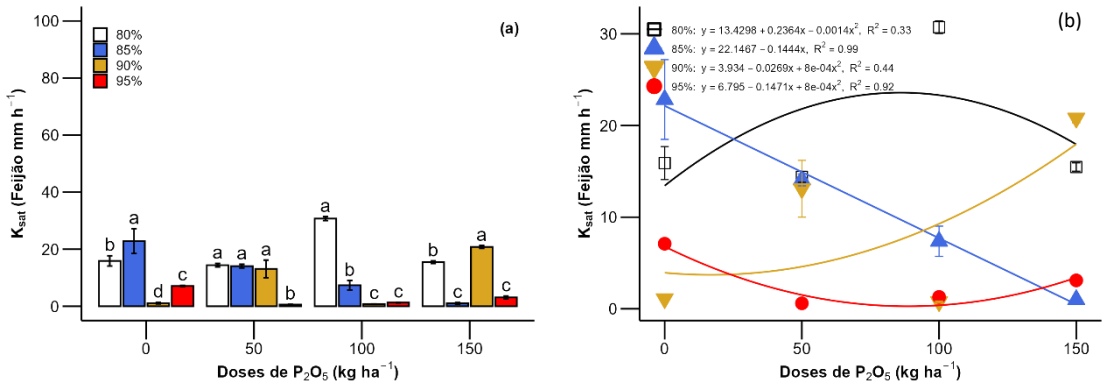


Figura 5. ksat (mmh-1) sobre graus de compactação de solo (a) e doses de P2O5 (b). Fazenda Canguiri 2025

AGRADECIMENTOS

À CAPES e à BECAL (NOTA PNB N° 1605/2020) pela concessão das bolsas de estudo. À PRPPG (UFPR) pelos Editais de Apoio à Pesquisa (Editais 06/21 e 04/23) pelo financiamento do Projeto. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, p. 121–145, 2005.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. Academic Press, 1998. 771 p.

KELLER, T. *et al*. Effects of soil compaction on water uptake of winter wheat. **Soil and Tillage Research,** v. 191, p. 50–60, 2019

NAWAZ, M. F. *et al*. Soil compaction impact and modelling. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p. 291–309, 2013.

NOVAIS, R. F. *et al*. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. Ed. Curitiba: SBCS – Núcleo Estadual Paraná, 2019.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de fósforo no solo e crescimento radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1385-1397, 2008.

REYNOLDS, W. D. *et al*. Laboratory Methods. In, Dane *et al*. (Org.). **Methods of soil analysis: part 4 physical methods**, v. 5, p. 802-816, 2002.

RICHART, A. *et al*. Soil compacting: Causes and effects. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, p.321-344, 2005.

SILVA, F.C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p

TORRES, J. L. R.; HORA, M. A. G. Compactação do solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1-10, 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA SOBRE A PRODUDITIVIDADE E NUTRIÇÃO DE AZEVÉM CULTIVADO EM PLANTIO DIRETO SOB GRAUS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO

Victoria Riker Carneiro[1], Luís Eduardo Nacle David[1], Pedro Ruben Viera Fariña[2], Roberta Morais Mendes[1], André Carlos Auler[3*]

[1]Graduanda(o) em Agronomia, UFPR, [2]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [3] 4Professor, UFPR, email: auler@ufpr.br.

RESUMO

A compactação do solo impacta negativamente o crescimento das plantas, reduzindo a absorção de água e nutrientes. Este estudo avaliou o comportamento agronômico do azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) sob diferentes graus de compactação do solo e doses de P_2O_5 em sistema plantio direto. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Canguiri (UFPR), utilizando delineamento DBC com parcelas subdivididas (4×4), totalizando 48 unidades experimentais. A compactação foi induzida pelo tráfego de trator, e as doses de P_2O_5 aplicadas variaram de 0 a 150 kg ha^{-1}. Os resultados indicaram que a compactação moderada associada à adubação fosfatada elevou a produção de massa seca para 5.271 kg ha^{-1}. Entretanto, sob o grau de compactação alta, a produtividade foi reduzida. A absorção de nitrogênio variou conforme os tratamentos, sendo maior em grau de compactação de 90% com 50 kg ha^{-1} de P_2O_5. A adubação fosfatada pode mitigar parcialmente os efeitos negativos da compactação.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do solo; plantas de cobertura; adubação verde; nitrogênio.

INTRODUÇÃO

A compactação do solo é um dos principais desafios a ser enfrentado na agricultura, pois interfere diretamente no desenvolvimento das raízes, limitando a retenção hídrica, aumentando a resistência a penetração, a falta de oxigênio no solo, e também podendo causar erosão (De Sá & Dos Santos Junior, 2005). Além de ampliar a densidade radicular, massa seca das raízes, e em estado mais eminente reduzir a eficiência de grãos de uma cultura, podendo comprometer a produtividade de gramíneas (Beulter & Centurion, 2004).

O desafio da agricultura conservacionista pode ser enfrentado mediante a um manejo do solo, isso com o uso de SPD os quais dentro dos pilares do sistema se encontra o uso de cobertura de solo como meio para mitigar os efeitos adversos da compactação de solo Correa *et al*., (2019). O azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) é uma gramínea de clima temperado com ciclo anual, amplamente utilizada para pastejo e como planta de cobertura no Brasil, pela sua alta capacidade de perfilhamento e rebrota (CORRÊA *et al*., 2014). As culturas de cobertura são cultivadas para melhorar a fertilidade, proteger o solo contra erosão, aumentar a disponibilidade de nutrientes, água e a biodiversidade microbiana (Sharma *et al*., 2018).

Dentre os nutrientes essenciais para o crescimento das gramíneas, o fósforo (P) tem um papel fundamental na formação e no crescimento das raízes, na fotossíntese e no metabolismo energético das plantas, com a sua participação essencial na molécula ATP (MALAVOLTA, 2006). Além disso, a compactação do solo pode gerar restrição das raízes a nutrientes devido ao crescimento superficial do sistema radicular, assim limitando o desenvolvimento das plantas e afetando a produtividades das culturas (FOLONI *et al*., 2003; SHIERLAW & ALSTON, 1984).

Dessa forma, a hipótese desse estudo é que doses de adubação fosfatada pode melhorar a produtividade do azevém nos diferentes graus de compactação, promovendo melhores condições para o crescimento radicular e absorção de nutrientes. Portanto, o objetivo desse trabalho é determinar o efeito residual da adubação fosfatada sobre a a produtividade do azevém em um solo sob SPD com diferentes graus de compactação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do Canguiri, situada no município de Pinhais-PR (25° 23' sul e 49° 08' oeste), em um Cambissolo Háplico Tb Distrofico típico, caracterizado por ter um relevo moderadamente ondulado e uma textura argilosa e presença de cascalho. Previamente a instalação do experimento, o solo apresentava baixos níveis de fósforo disponível (P), < 1,0 mg dm^{-3}, e nenhuma restrição física significativa, assim se tornava mais receptivo à adubação fosfatada e suscetível à compactação de solo. O clima da região é subtropical úmido (Cfb) (ALVARES *et al*., 2013).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em esquema de parcela subdividida (4×4), com três repetições, totalizando 48 parcelas. Os tratamentos dispostos nas parcelas experimentais foram introduzidos pelo tráfego de um trator agrícola (CASE PUMA 165), com rodado de pneus diagonais, bitola traseira de 1,7 m e massa total de 10,5 Mg com pneus dianteiros (480/70 R28) e traseiros (580/70 R38). Durante o tráfego do trator, foi utilizada a velocidade de 5 km h^{-1} a uma rotação de 1.800 rpm. Assim gerando quatro níveis de grau de compactação (GC) do solo: Natural (GC=80±2%), Leve (GC = 85±2%), Moderada (GC = 90±2%) e Alta (GC = 95±2%)). Esses graus de compactação do solo foram classificados através da curva de compactação do solo, por meio do teste de Proctor (ASTM, 1992), levantando os valores de densidade máxima do solo e umidade ótima de compactação. As compactações foram realizadas uma única vez, em novembro de 2022, para poder realizar o plantio das culturas na safra de verão.

Nas subparcelas, foram aplicadas as doses de P_2O_5 (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}), em sulco, por ocasião da semeadura das culturas produtoras de grãos (milho, trigo e feijão), utilizando o superfosfato triplo como fonte. As doses utilizadas foram definidas a partir da dose recomendada para a cultura em função da disponibilidade de fosforo no solo, para tanto, seguiu-se a recomendação para o estado do Paraná. A partir da dose recomendada, foi subdividida em uma dose testemunha, baixa, recomendada e superdose. Já a Adubação dos demais fertilizantes (N e K_2O) foram aplicados homogeneamente e manualmente em superfície (60 e 150 kg ha^{-1} de N na forma de ureia e KCl respectivamente) de acordo a análise química do solo e a necessidade da cultura (PAULETTI e MOTTA, 2019).

Foi adotado um sistema de rotação de milho - trigo - feijão - azevém sob SPD. Em abril de 2024 o azevém (var. Barjumbo) foi semeado em linhas espaçadas em 17,5 cm, com densidade de 10 kg de sementes viáveis ha^{-1}, sem nenhuma prática de adubação. Neste caso, buscou-se avaliar os efeitos residuais da adubação fosfatada sobre a planta de cobertura. Durante o pleno florescimento da cultura, foi feita a amostragem de dois quadros de 0,25 m^2 por parcela, para determinação da produção de massa seca (65 °C). Na sequência, foi estimada a produtividade em kg ha^{-1}. Após secagem, o material foi moído e submetido a digestão úmida H_2SO_4+H_2O_2, no qual consiste em oxidar a MO do tecido vegetal, e a titulação dos teores de N foram feitos pelo método de Kjeldahl (da Silva, 2009).

Foram executados testes de normalidade dos resíduos por Shapiro-Wilk e homoscedasticidade por Bartlett, os dados de massa seca e N-total foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Em caso de interações significativas, foram executadas análises de desdobramento. Quando significativos os valores de F, o teste de Tukey foi aplicado para a compactação do solo, e a análise de regressão para as doses de fósforo, utilizando o software R 4.4.1 (R CORE TEAM, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de massa seca de azevém foi afetada pela interação dos GC, e as doses P_2O_5. No GC 80%, a produção de massa seca foi de 4.930 kg ha^{-1} sem aplicação de dose de P_2O_5, sendo diferenciado do GC de 85% que, a máxima produção de massa seca foi na dose zero de P_2O_5, com uma média de 6,780 kg ha^{-1} (Figura 1a). Para o GC de 90%, observou-se um comportamento quadrático na resposta à adubação fosfatada, atingindo uma produção máxima de 5.271 kg ha^{-1}. Entretanto, em condições de alta compactação, a produção de massa seca diminuiu, registrando uma média de 4.464 kg ha^{-1} mesmo com a dose máxima de

P_2O_5. Esses resultados indicam que a compactação excessiva do solo pode limitar o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, conforme destacado por Foloni *et al*. (2003) e Shierlaw & Alston (1984).

A interação entre compactação do solo e disponibilidade de fósforo é complexa. A compactação pode reduzir a difusão de nutrientes no solo, tornando-os menos acessíveis às plantas (Shierlaw & Alston, 1984). No entanto, a adubação fosfatada pode, até certo ponto, mitigar os efeitos negativos da compactação, melhorando a disponibilidade de fósforo e promovendo o crescimento vegetal. Este efeito compensatório foi observado em nosso estudo, especialmente no grau de 90% de compactação, onde doses crescentes de P_2O_5 resultaram em maior produção de massa seca.

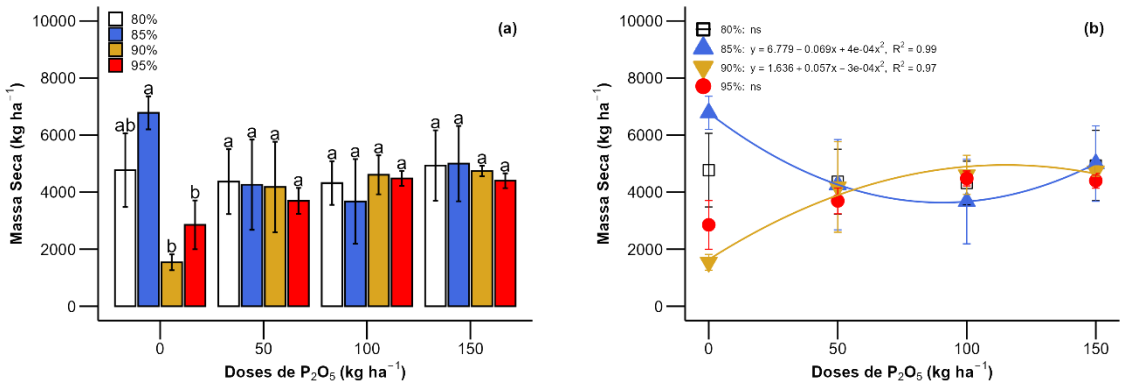


Figura 1. Massa seca da planta de azevém kg ha^{-1}, (a) em função a graus de compactação e (b) doses de P_2O_5 kg ha^{-1}.

Em relação à concentração de N nas plantas, não foram encontradas diferenças significativas nos graus de compactação, mas foram encontras diferenças significativas entre as doses de P_2O_5. Contudo, notou-se que, no grau de compactação de 80%, a aplicação de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 resultou em uma concentração de 1,61 g kg^{-1} de N na planta. De maneira semelhante, no grau de compactação 85, 90 e 95% tiveram concentrações similares em todas as doses de P_2O_5 (Figura 2a). As doses de P_2O_5 foi observada um comportamento quadrático quando o grau de compactação foi 90% obtendo maior concentração de N com aplicação de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 (figura 2b). Esses dados sugerem que a compactação do solo influencia a absorção de N pelas plantas, possivelmente devido às alterações na estrutura do solo que afetam o crescimento radicular e absorção de nutrientes, especialmente aqueles absorvidos por fluxo de massa e com alta mobilidade no solo, como é o caso do N (Silva, 2021).

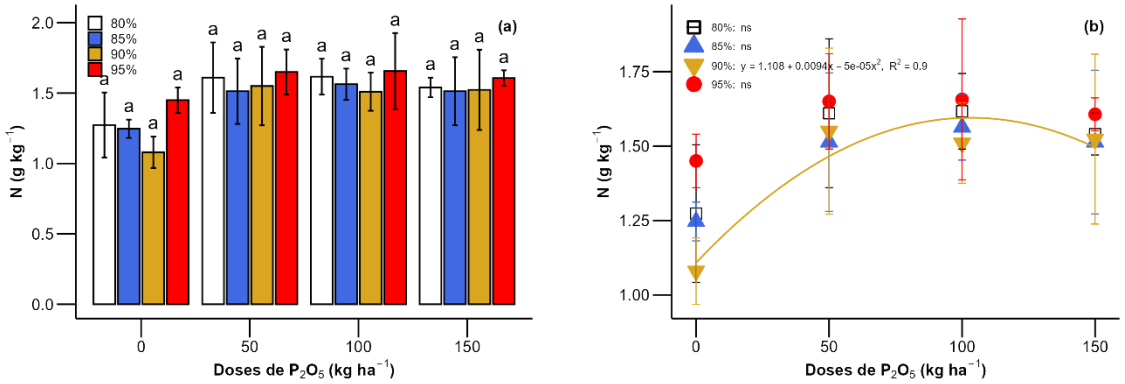


Figura 2. Concentração de N na planta g kg^{-1}, (a) em função a graus de compactação e (b) doses de P_2O_5 kg ha^{-1}.

CONCLUSÕES

Os graus de compactação influenciaram na produção de massa seca até o grau de 90%, observando maiores resultados com a aplicação de maiores doses de P_2O_5.

A concentração de N na planta foi influenciada pela dose de 50 $kgha^{-1}$ de P_2O_5 quando o grau de compactação do solo foi 90%.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e à BECAL (NOTA PNB N° 1605/2020) pela concessão das bolsas de estudo. À PRPPG (UFPR) pelos Editais de Apoio à Pesquisa (Editais 06/21 e 04/23) pelo financiamento do Projeto. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo e adubação na produtividade de soja. ***Scientia Agricola***, v. 61, n.6, p. 626–631, 2004.

CORRÊA, Emanuelle B. *et al*. Avaliação de dois cultivares de azevém sob diferentes épocas de plantio ao longo do período de utilização. 2014.

CORREA, J. *et al*. "Soil compaction and the architectural plasticity of root systems." **Journal of experimental botany***,* v.70 n. 21, p. 6019-6034, 2019.

DA SILVA, Fábio Cesar. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2009.

DE SÁ, M. A. C.; SANTOS JÚNIOR, J. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. Embrapa Cerrados. Documentos, v. 136, 2005.

FOLONI, José Salvador Simoneti; CALONEGO, Juliano Carlos; LIMA, Sérgio Lázaro de. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 947-953, 2003.

MALAVOLTA, Eurípedes. Manual de nutrição mineral de plantas. Agronômica Ceres, 2006.

P. SHARMA, A. SINGH , CS KAHLON , AS BRAR , KK GROVER , M. DIA , RL STEINER O papel das culturas de cobertura para a saúde sustentável do solo e agricultura: um artigo de revisão **Revista Americana de Ciências Vegetais**, 9 (2018) , pág. 1935

SHIERLAW, J.; ALSTON, A. M. Role of soil physical properties in crop production. **Australian Journal of Soil Research**, v. 22, n. 2, p. 121-133, 1984.

SILVA, P. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: uma revisão bibliográfica. **ResearchGate,** 2021.

TEAM, R. Core. R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística [Software de computador]. R **Foundation for Statistical Computing** [em linha]. 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

LIMITES DE COMPACTAÇÃO PARA A CULTURA DA CEBOLA

Sofia Kerniski Hupalo[1*], Maria Vitoria Sovrani[2], Miguel David Fuentes-Guevara[3], Amanda Alves Pacheco[4] Cristiano Andre Pott[5]

[1] Estudante de graduação da UNICENTRO, [2] Mestranda do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [3] Pesquisador Pós-Doc do PPGAgronomia da UNICENTRO, [4] Mestranda do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [5] Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO. * E-mail: sofiakhupalo@gmail.com

RESUMO

O cultivo de cebola é comumente realizado em solo preparado de forma convencional, pois o bulbo necessita que o solo esteja solto e revolvido, o que, por sua vez, aumenta os riscos de erosão e degradação. Na tentativa de promover menor revolvimento do solo ou mesmo cultiva-la em sistema plantio direto, é necessário conhecer quanto a cultura da cebola é sensível à compactação do solo. Assim, o objetivo desse estudo foi determinar o grau de compactação ideal para a cultura da cebola. A cebola foi cultivada em vasos com solo compactado em vários graus de compactação solo. O grau de compactação ideal para a cultura da cebola variou entre 76% a 79% dependendo da variável avaliada, massa seca de folha e raiz, massa do bulbo fresco e diâmetro equatorial do bulbo.

PALAVRAS-CHAVE: física do solo; hortifruti; grau de compactação.

INTRODUÇÃO

A cultura da cebola (*Allium cepa* L.) tem papel importante na economia do Brasil, sendo uma das culturas hortícolas mais produzidas no país. De acordo com os dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em 2019 a produção mundial de cebola atingiu 99,9 milhões de toneladas, sendo 139 países produtores e o Brasil um deles.

A cebola é uma planta herbácea, sendo a parte de interesse comercial da cebola denominada de bulbo. Os bulbos são formados por catafilos e podem apresentar diferentes formatos, cores, pungência e tamanho, dependendo da cultivar e da conservação pós colheita (Kiil *et al*., 2007).

Devido a sua morfologia, para se desenvolver de forma correta, é necessário um preparo de solo eficiente. O preparo envolve revolvimento, sua descompactação e aeração (Loss *et al*., 2017). De forma geral, o sistema preparo convencional (SPC) envolve movimentação do solo com implementos agrícolas e seu revolvimento (Roters *et al*., 2021).

O SPC é caracterizado pelo intenso revolvimento do solo e preparo para a produção agrícola. O revolvimento do solo afeta o conteúdo de água no solo, sua aeração, temperatura e até mesmo a dinâmica dos microrganismos do solo (Kladivko, 2001). Apesar de ser uma prática que garante benefícios ao produtor, o SPC causa efeitos negativos para a conservação do solo e da água (Kassam *et al*., 2019). Efeitos na qualidade física como a desagregação dos agregados do solo e aumento do risco de erosão estão atrelados a essa prática (Loss *et al*., 2015).

Diferente do SPC, o sistema plantio direto (SPD) tem como princípio o emprego de práticas que favorecem a conservação do solo como a rotação de culturas, cobertura permanente e não revolvimento do solo (Possamai *et al*., 2022). Este sistema causa bons efeitos no solo como a preservação e melhoria das propriedades físicas do solo (Calegari *et al*., 2013), importantes para diminuir a à erosão. No entanto, problemas de compactação do solo podem limitar esse sistema para o cultiva da cebola.

Para minimizar os danos causados pelo uso inadequado do solo, uma solução é a prática do SPD com em hortaliças (SPDH), que consiste em um conjunto de práticas oriundas do SPD, porém aplicadas para o cultivo de hortaliças. O cultivo de hortaliças em áreas menos preparadas é uma prática que tem sido utilizada para reduzir os danos do SPC. Apesar de ser uma prática que visa a conservação do solo, sua utilização tem

diminuído pela alta necessidade de mão de obra. Além disso, no SPD o solo apresenta maiores valores de densidade do solo e consequentemente maior grau de compactação (Klein, 2014).

Para a cebola, um cultivo que depende de um solo bem revolvido, a compactação tem um impacto direto no seu crescimento, dificultando a formação dos bulbos e a expansão de suas raízes (Sá e Santos Junior, 2005).

Reichert *et al* (2009) realizaram experimentos que definem limites de grau de compactação para diversas culturas, bem como os valores críticos de densidade do solo e macroporosidade. No entanto, não existem parâmetros conhecidos de limite de grau de compactação, densidade do solo e macroporosidade para a cultura da cebola.

O objetivo desse trabalho foi determinar o limite crítico de grau de compactação para a cultura da cebola.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), campus Cedeteg, em Guarapuava, PR (25°22'54.3"S e 51°29'39.5"W, 1.018 m de altitude). O solo utilizado no experimento foi coletado em área de SPD classificado como Latossolo Bruno muito argiloso. Foi coletado cerca de 300 kg de solo na camada de 0 a 0,20 m. O solo foi peneirado utilizando peneira com malha de 4,75 mm e seco ao ar. Para a confecção dos vasos, foram utilizados canos de PVC com 150 mm de diâmetro, sendo cortados em 200 mm de altura, fechados na parte inferior com tecido voal, preso com elástico.

Para determinar os tratamentos de grau de compactação do solo, foi determinado a densidade máxima do solo por meio do ensaio de Proctor. Os tratamentos consistiram dos graus de compactação de solo: 61%, 65%, 75%, 85% e 95%.

A semeadura da cebola, cultivar Híbrida Irati F1 foi realizada com 3 sementes por vaso. A semeadura ocorreu em 17/07/2024. A irrigação da cebola ocorreu de maneira manual a cada dois dias, calculando-se a quantidade de água necessária por meio da pesagem dos vasos para atingir a capacidade de campo de cada tratamento. Para realizar a colheita (dia 05/12/2024), os vasos foram desmontados com o auxílio de água, removendo o solo e deixando apenas as plantas para análises laboratoriais.

Foram realizadas avaliações das plantas no mesmo dia da colheita, 2 horas após a desmontagem dos vasos. Para mensurar o diâmetro equatorial do bulbo, foi utilizado um paquímetro digital e para a massa fresca de bulbo, os mesmos foram pesados em balança de precisão. Para a avaliação de massa seca de folhas e de raízes, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel identificados, colocadas em estufa de circulação forçada a 60°C durante 48 horas. Posteriormente, as amostras foram pesadas em balança analítica.

Para a análise estatística, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e análise de regressão polinomial, ambos a 5% de significância, utilizando o *software* SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas variáveis avaliadas, massa seca de folha, massa seca de raiz, massa de bulbo fresco e diâmetro equatorial do bulbo tiveram significância com regressão polinomial de segundo grau (Figura 1). Em todas as variáveis derivou-se a produtividade máxima da variável estudada e determinar o grau de compactação ótimo do solo. Assim, para massa seca de folha, obteve-se o valor máximo de 1,43 g, correspondente a 78% do grau de compactação do solo. A maior produção de massa seca de raiz foi de 0,12 g planta^{-1} correspondente ao grau de compactação ótimo de 76% (Figura 1). A maior produção massa fresca do bulbo ocorreu no grau de compactação do solo de 79%, o que correspondeu a 8,5 g bulbo^{-1}. Em relação ao diâmetro equatorial, obteve-se diâmetro máximo de 24,4 mm em um grau de compactação ótimo de 79%.

Em estudo de campo para a cultura do milho, a faixa ideal do grau de compactação do solo foi de 81 a 90% (Bareta Júnior *et al*., 2022). Os mesmos autores constataram que a aveia preta necessita grau de compactação do solo menor que 86%.

Em estudo de casa de vegetação na cultura da erva-mate, Spliethoff *et al*. (2020) verificaram que o grau de compactação de 85% foi o valor ótimo para desenvolvimento de parte aérea, a qual representa a parte de maior importância econômica da cultura.

O grau de compactação do solo encontrado nesse estudo foi menor do que encontrado em outras culturas, indicando que espécie hortícola necessita de um solo com menor densidade e maior porosidade do que as culturas de grãos. O grau de compactação ideal de 76 a 79% indica que solos compactados não são adequados para a cultura da cebola.

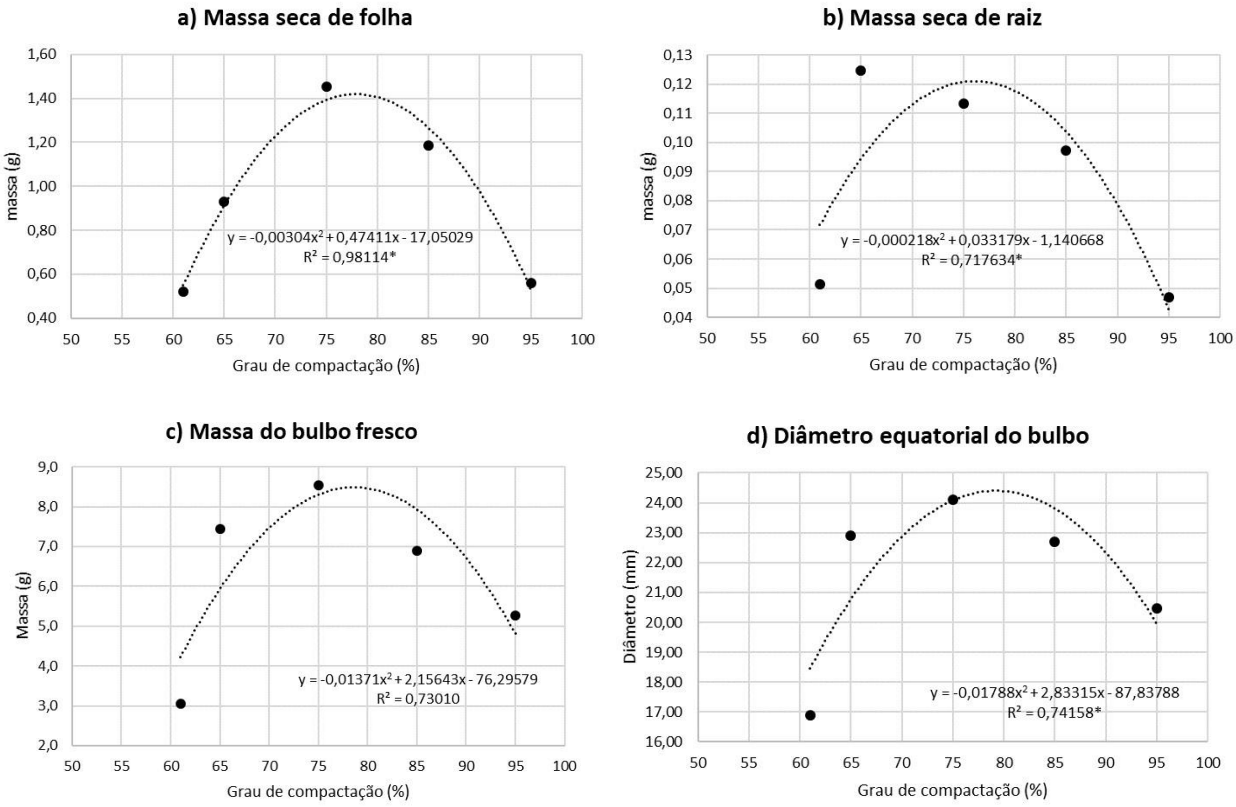


Figura 1. Massa seca de folha (a), massa seca de raízes (b), massa do bulbo fresco (c) e diâmetro equatorial do bulbo (d) em função do grau de compactação do solo. *nível de significância de acordo com a análise de regressão ($p<0,05$).

CONCLUSÕES

O grau de compactação ideal para a cultura da cebola variou entre 76% a 79% considerando massa seca de folha e raiz, massa do bulbo fresco e diâmetro equatorial do bulbo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) pelo apoio e recursos para a pesquisa, a equipe técnica do Laboratório de Física, Manejo e Conservação do solo pelo auxílio durante o experimento e à Fundação Araucária e a CAPES pela concessão das bolsas.

BIBLIOGRAFIA

BARETA JUNIOR, E.; GENÚ, A. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R. C.; POTT, C. A. Critical limits of soil physical attributes for corn and black oat in a Xanthic Hapludox. **Revista Ciencia Agronomica**, v. *53*, p. e20207533, 2022.

CALEGARI, A. *et al*. Influence of Soil Management and Crop Rotation on Physical Properties in a Long-Term Experiment in Paraná, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 13, p. 2019–2031, 2013.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. Global spread of Conservation Agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, v. 76, n. 1, p. 29–51, 2019.

KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and Tillage Research**, v. 61, n. 1, p. 61–76, 2001.

LOSS, A. *et al*. CARBONO ORGÂNICO TOTAL E AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO AGROECOLÓGICO E CONVENCIONAL DE CEBOLA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1212–1224, 2015.

LOSS, A. *et al*. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105–113, 2017.

POSSAMAI, E. J. *et al*. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0210104, 2022.

ROTERS, D. F. *et al*. Carbon increase and soil physical improvement in an onion no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 2, p. 1–8, 2021.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. **Embrapa Cerrados.** n. 1, 2005.

SPLIETHOFF, J. *et al*. Limites de compactação do solo para Ilex paraguariensis. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e23953101–e23953101, 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

NUTRIÇÃO NAS CULTURAS DO MILHO E TRIGO DE FOSFORO E POTÁSSIO SOB PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO FOSFATADA

Giorgia Ribeiro Graciano[1], Pedro Ruben Viera Fariña[2], Roberta Morais Mendes[1], Victoria Riker Carneiro[1], André Carlos Auler[3*]

[1]Graduanda em Agronomia, UFPR, [2]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [3]Mestrando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Professor, UFPR, email: auler@ufpr.br

RESUMO

A compactação do solo pode restringir o crescimento das culturas. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do aproveitamento de P e K por milho e trigo, em função da compactação de solo e adubação fosfatada, em sistema de plantio direto. Para isso, foi conduzido experimento em campo, no qual foram definidos 4 níveis de grau de compactação: Natural (80±2%), Leve (85±2%), Moderada (90±2%) e Alta (95±2%). Foram aplicadas doses de P_2O_5 (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}). Os resultados foram submetidos a ANOVA e Regressão. As culturas de milho e trigo apresentaram diferenças significativas nas concentrações de P e K na planta em função as doses de P_2O_5 e níveis de compactação. Neste sentido, torna-se evidente a influência das doses de P, nos efeitos da compactação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; nutrição mineral de plantas; degradação física do solo.

INTRODUÇÃO

A compactação do solo reduz sua qualidade estrutural em áreas manejadas sob sistema plantio direto (SPD) e limita o rendimento de grãos das culturas, principalmente em solos argilosos. As áreas cultivadas sob SPD vêm aumentando gradativa e sucessivamente na região Sul do Brasil. Esse sistema de manejo melhora algumas propriedades dos solos, especialmente pela redução da erosão hídrica. Entretanto ele pode compactar o solo pelo acúmulo de pressões impostas pelos pneumáticos de máquinas agrícolas, além do adensamento natural do solo (SECCO *et al*., 2009).

A compactação devido ao tráfego de maquinários ocasiona danos ao solo que podem interferir no adequado desenvolvimento do sistema radicular das plantas, apresentando como principal dano a diminuição da produtividade das culturas. A compactação pode reduzir a infiltração e a distribuição de água, além de dificultar a penetração das raízes no perfil do solo, podendo limitar a absorção de nutrientes pelas plantas, o que prejudica o crescimento radicular das plantas. Todos estes fatores ocasionam a redução da produtividade das culturas e a qualidade ambiental em razão do aumento do processo erosivo (PEZZONI FILHO *et al*., 2014)

A adubação fosfatada corretiva, visando à elevação da disponibilidade do nutriente no solo, normalmente na camada de 20 cm de profundidade, denominada camada arável, tem sido realizada por ocasião da incorporação de novas áreas ou de áreas degradadas ao processo produtivo. Contudo, em áreas já cultivadas, especialmente naquelas adequadamente manejadas sob SPD, tem-se optado pela elevação da disponibilidade de P por meio da adubação fosfatada corretiva gradual. Neste caso, em que não se almeja realizar a incorporação do adubo fosfatado, uma quantidade de P superior à requerida pela cultura, em termos de extração e exportação do nutriente, é aplicada no sulco de semeadura, visando o acúmulo gradativo do nutriente no solo, de maneira a se atingir a disponibilidade desejada do mesmo, após alguns anos (KURIHARA *et al*; 2014).

Deste modo, conjuntamente, acredita-se que a compactação do solo e a deficiência de fósforo podem comprometer expressivamente a absorção de nutrientes e a produtividades das plantas. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação fosfatada em condições de um solo compactado em diferentes níveis sobre a absorção de P e K e a produtividade de milho e trigo em SPD.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Canguiri (25º 23' sul, 49º 08' oeste) em um Cambissolo Háplico Distrofico Tb típico, com relevo moderadamente ondulado, com textura argilosa, com baixos níveis de fósforo disponível (P) e sem restrições físicas, considerando que estes foram mais favoráveis à adubação fosfatada e à compactação do solo. O experimento foi iniciado na safra de verão 2022, em campo, sob delineamento experimental de blocos casualizados em esquema de parcela subdividida (4×4), com três repetições. Os tratamentos dispostos nas parcelas experimentais foram quatro níveis de grau de compactação (GC) do solo: Natural (GC=80±2%), Leve (GC = 85±2%), Moderada (GC = 90±2%) e Alta (GC = 95±2%), induzidas pelo tráfego de um trator agrícola (CASE 165 de 10.500 kg). Os níveis de compactação do solo foram definidos através da curva de compactação do solo, por meio do teste de Proctor (ASTM, 1992), identificando os valores de densidade máxima do solo e umidade ótima de compactação. Nas subparcelas, foram aplicadas as doses de P_2O_5 (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}), em sulco, por ocasião da semeadura das culturas, utilizando o superfosfato triplo como fonte (ST). Os demais fertilizantes (N e K_2O) foram aplicados homogeneamente e manualmente em superfície, de acordo a análise química do solo e a necessidade da cultura (PAULETTI e MOTTA, 2019).

O plantio de milho foi feito com semeadora mecanizada (baldan 4500), com uma população de plantas de 55.000 a 60.000 plantas/ha, utilizando a variedade VT PRO 3. Na cultura de trigo foi feita a mesma semeadura mecanizada mantendo padrão. Os mesmos receberam, todos os tratos culturais (aplicação de inseticida, fungicida e controle de plantas daninhas).

Foram coletadas amostras vegetais para determinação de P e K, as amostras foram secas em estufa de 60 °C com circulação de ar, para depois ser moído e levado para laboratório. No laboratório foi feita a extração mediante digestão seca. As leituras de P foram feitas com UV-VIS e de K com fotometria de chama.

Foram executados testes de normalidade dos resíduos e homoscedasticidade. Atendidas as preposições, os dados foram submetidos à análise de variância, sendo aplicados o teste de Tukey para comparar os efeitos dos GC e a análise de regressão para os efeitos das doses de P2O5. Todas as análises foram feitas com o auxílio do software R (R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a cultura de trigo, houve uma diferença significativa só para as doses de P_2O_5 ($p<0,001$). Houve incremento na concentração de P na planta com a aplicação de doses de P_2O_5 nos níveis de grau de compactação do solo, destacando-se as doses de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 nos diferentes GC. Para os GC Natural e Leve houve uma concentração de 1,65 e 1, 55 g kg^{-1} de P, respetivamente, e nos GC Moderada e Alta a concentração foi de 1,59 e 1,78 g kg^{-1} de P na planta, respetivamente (Figuras 1a e 1b). A cultura de trigo apresentou uma concentração de 1,5 g kg^{-1} nas doses de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5, resultado variante foi observado por Oliveira *et al*., (2005), que encontrou uma concentração de 2,3 g kg^{-1} de P na planta. O fato da concentração de fósforo nas plantas não seguir o comportamento dos modelos das funções obtidos para as características de produção, pode igualmente ser atribuído ao fato de que possivelmente, durante o florescimento, uma considerável quantidade desse nutriente foi translocada das plantas e caule para a formação das espigas, pois esse nutriente apresenta alta mobilidade na planta (Raij, 1991), e acumula-se nas sementes e frutos durante o período de seu desenvolvimento (Meyer *et al*., 1983).

Para a cultura do Milho, foi observado interação significativa. Houve maior concentração de P na planta com a aplicação das doses de P_2O_5 nos níveis de grau de compactação do solo. Nos GC Natural e Leve houve uma concentração 1 e 0,84 g kg^{-1} de P na planta, sem aplicação de P_2O_5 e com dose de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5, respetivamente. No GC Moderada teve um aumento da concentração de P na planta com a maiores doses de P_2O_5, com uma média de 0,82 g kg^{-1} de P na planta. Para o GC Alta foi observada uma média de 0,94 g/kg de P na planta quando foram aplicadas doses de 50 kg ha-1 de P2O5 (Figuras 1c e 1d)

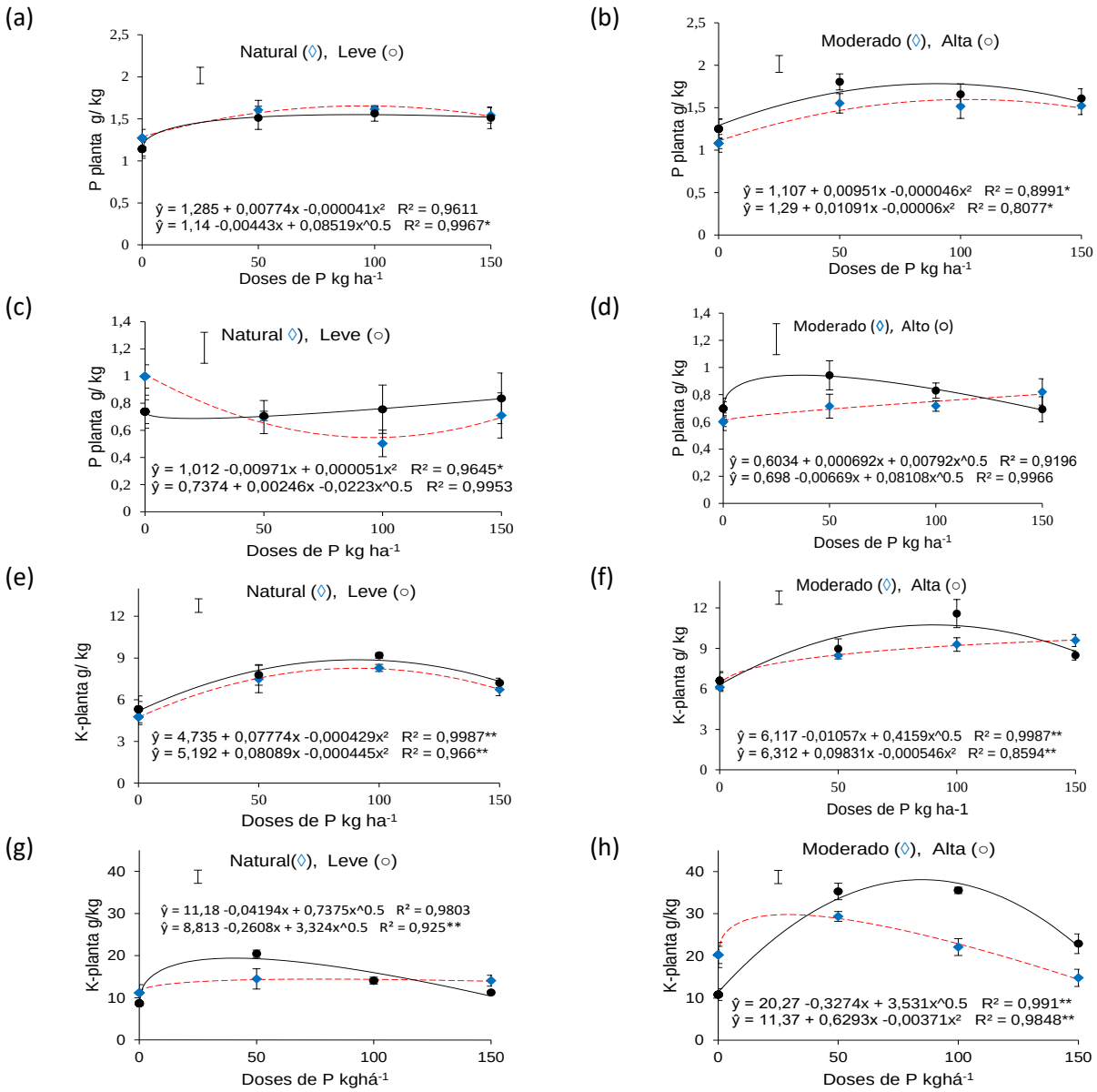


Figura 1. Concentração P e K em trigo (a, b, e, f) e milho (c, d, g, h), em função a doses de P_2O_5 kg ha^{-1} nos níveis de grau de compactação Natural e Leve (à direita), Moderada e Alta (à esquerda).

Para a cultura de trigo, houve uma diferença significativa na concentração de K para os níveis de compactação (p<0,001), para as doses de P_2O_5 (p<0,001) e interação (p<0,001). Houve incremento na concentração de K na planta com a aplicação de doses de P_2O_5 nos níveis de grau de compactação do solo, destacando-se as doses de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 nos níveis de compactação. Nos GC natural e leve houve uma concentração 14,2 e 19,4 g kg^{-1} e nos GC Moderada e alta a concentração de 29,79 e 38,7 g kg^{-1} de P na planta (Figuras 1e e 1f).

Na cultura do Milho, houve uma diferença significativa na concentração de K, para os níveis de Compactação (p 0,004) e para as doses de P_2O_5 (<0,001), para os outros afins não foi encontrado significância. Houve incremento na concentração de K na planta com a aplicação de doses de P_2O_5 nos níveis de grau de compactação do solo, destacando-se as doses de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 nos níveis de compactação. Nos níveis de grau de compactação natural e leve houve uma concentração 8,2 e 8,8 g kg^{-1} e nos graus de Moderada e alta a concentração de 9,7 e 10,74 g kg^{-1} de P na planta (Figuras 1g e 1h).

CONCLUSÕES

As doses de adubação fosfatada podem mitigar os efeitos da compactação do solo até no nível de compactação moderada. As concentrações de P e K na planta aumentou com doses de 50 P_2O_5 kg ha^{-1} e 100 P_2O_5 kg ha^{-1}, respetivamente. Esses resultados reforçam a necessidade de equilibrar o manejo do solo e a adubação para garantir o desenvolvimento adequado das plantas e, consequentemente, aumentar a produtividade agrícola.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à CAPES e à BECAL (NOTA PNB N° 1605/2020) pela concessão das bolsas de estudo. À PRPPG (UFPR) pelos Editais de Apoio à Pesquisa (Editais 06/21 e 04/23) pelo financiamento do Projeto. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

ALBUQUERQUE, Abel W. de *et al*. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 17, p. 721-726, 2013.

GATIBONI, Luciano Colpo *et al*. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 691-699, 2007.

KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M.; TSUJIGUSHI, B. P.; SILVA, J. V. S.; DIAS, M. M. **Adubação fosfatada no sistema plantio direto**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. (Circular Técnica, 26).

OLIVEIRA, Ademar P. de *et al*. Resposta do feijão-vagem a P2O5 em solo arenoso com baixo teor de fósforo. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 128-132, 2005.

PEZZONI FILHO, José Carlos *et al*. Compactação de um Cambissolo Háplico causada pela extração florestal com trator skidder. **Cerne**, v. 20, p. 199-208, 2014.

SECCO, Deonir *et al*. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, p. 58-64, 2009.

SANTOS, Danilo Rheinheimer dos; GATIBONI, Luciano Colpo; KAMINSKI, João. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, p. 576-586, 2008.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

QUALIDADE FÍSICA DO TECNOSOLO E HORIZONTE A SOB ÁREAS DEGRADADAS E COM DIFERENTES GRAUS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO

Pedro Ruben Viera Fariña[1*], Filipe Behrends Kraemer[2], Haydee Steinbach[3], Anabella Tobler[4], André Carlos Auler[5]

[1]Doutorando PPG em Ciência do Solo UFPR, *email: pedroviera@ufpr.br, [2] Professor UBA, [3] Pesquisador CONICET, [4]TECSAN, [5]Professor, UFPR.

RESUMO

Nos últimos anos, a construção de Tecnosolos tem se destacado como uma alternativa para recuperar áreas degradadas e para fins produtivos. Em um ensaio de campo de longa duração, foram avaliadas propriedades físicas e químicas de um Tecnosolo (T) (solo residual: horizontes A, Bt e C + biossólidos classe B) e um solo orgânico (horizonte A), sob dois níveis de compactação: compactado (C) e não compactado (SC). O delineamento experimental foi em DCA com parcelas subdivididas (2x2) (3 blocos, 12 unidades experimentais). Os tratamentos foram: TC, TSC, HAC e HASC. Para os testes de estabilidade estrutural dos agregados, observou-se interação significativa, com a ordem: TC > TSC > HASC > HAC. Os altos valores observados para o Tecnosolo (T) são atribuídos à presença de Ca no horizonte C e às poliacrilamidas no biossólido. Os resultados indicam que os Tecnosolos podem ser uma alternativa viável para a recuperação de áreas degradadas.

PALAVRAS-CHAVE: experimento de longa duração; propriedades físicas e químicas; biossólidos.

INTRODUÇÃO

Estima-se que 33% dos solos globais foram degradados pela atividade humana (FAO, 2019), sendo a mineração uma das principais causas, ocupando mais de 1% do território mundial (Carabassa *et al*., 2020; Šálek, 2012). A mineração a céu aberto, em especial, provoca severa degradação do solo, muitas vezes irreversível (Ibarra e De Las Heras, 2005; Smirnov *et al*., 2021; Soliveres *et al*., 2021). Esse impacto é ainda mais crítico em regiões áridas e semiáridas, onde as condições extremas e a escassez de nutrientes dificultam a revegetação natural (Ortega *et al*., 2020), tornando a recuperação da funcionalidade do solo um grande desafio (Moreno-de las Heras, 2009).

A matéria orgânica é um indicador-chave da qualidade e saúde do solo (Hoffland *et al*., 2020). Além da degradação, o aumento de resíduos orgânicos no mundo exige soluções urgentes (Hernández *et al*., 2015). Nesse contexto, a incorporação de resíduos para criação de Tecnosolos surge como estratégia integrada de economia circular (Fabbri *et al*., 2021), promovendo a recuperação do capital natural (Abhilash, 2021; Alba-Patiño *et al*., 2021). A aplicação desses resíduos aumenta a matéria orgânica e melhora as propriedades químicas, físicas e microbiológicas do solo (Hueso-González *et al*., 2018; Rodríguez-Berbel *et al*., 2021). A eficácia dessa prática depende da composição química dos resíduos utilizados (Ye *et al*., 2019). Neste contexto, este experimento objetiva avaliar as propriedades físicas e químicas de um Tecnosolo e de um solo orgânico sob dois níveis de compactação em um solo degradado da Pampa Ondulada, Argentina.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo, no município de Campana, província de Buenos Aires, adotando delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Cada bloco continha quatro unidades experimentais de 20 × 20 m. Foram avaliados dois tipos de solo (Tecnosolo e Horizonte A) e dois níveis de compactação (compactado e não compactado), totalizando 12 unidades experimentais. O Horizonte A corresponde a um solo superficial, orgânico, de textura argilo-siltosa, pH 6,0, com presença de concreções ferro-magnesianas.

O Tecnosolo foi elaborado a partir de solo de descarte silto-argiloso, livre de contaminantes, e biossólidos classe B, estabilizados por digestão anaeróbica mesofílica, com 22% de matéria seca. A estabilidade dos agregados foi avaliada pelo diâmetro médio ponderado (DMP), conforme Le Bissonnais (1996), utilizando três testes: umedecimento rápido, agitação em água após submersão em etanol e umedecimento lento. As amostras (3–5 mm) foram analisadas em triplicata.

Também foi determinada a porosidade do solo e semeada uma pastagem consorciada (trevo e moha) para análise da produção de massa seca. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett), seguidos de análise de variância (ANOVA). Interações significativas foram desdobradas, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, utilizando o software InfoStat.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças significativas na estabilidade dos agregados entre as datas de avaliação e entre os tipos de solo. O umedecimento rápido foi maior na primeira data de avaliação. No Tecnosolo, observaram-se diferenças em relação ao Horizonte A, indicando maior estabilidade estrutural, atribuída ao elevado teor de matéria orgânica. Além disso, a presença de poliacrilamida no Tecnosolo contribuiu para sua maior resistência à desagregação. No solo compactado, a estabilidade dos agregados também foi superior. A desagregação mecânica foi influenciada pelo tipo de solo, com o Tecnosolo apresentando agregados de tamanho médio em torno de 2 mm. De modo geral, o Tecnosolo mostrou-se mais estável que o Horizonte A, especialmente nas condições de solo compactado.

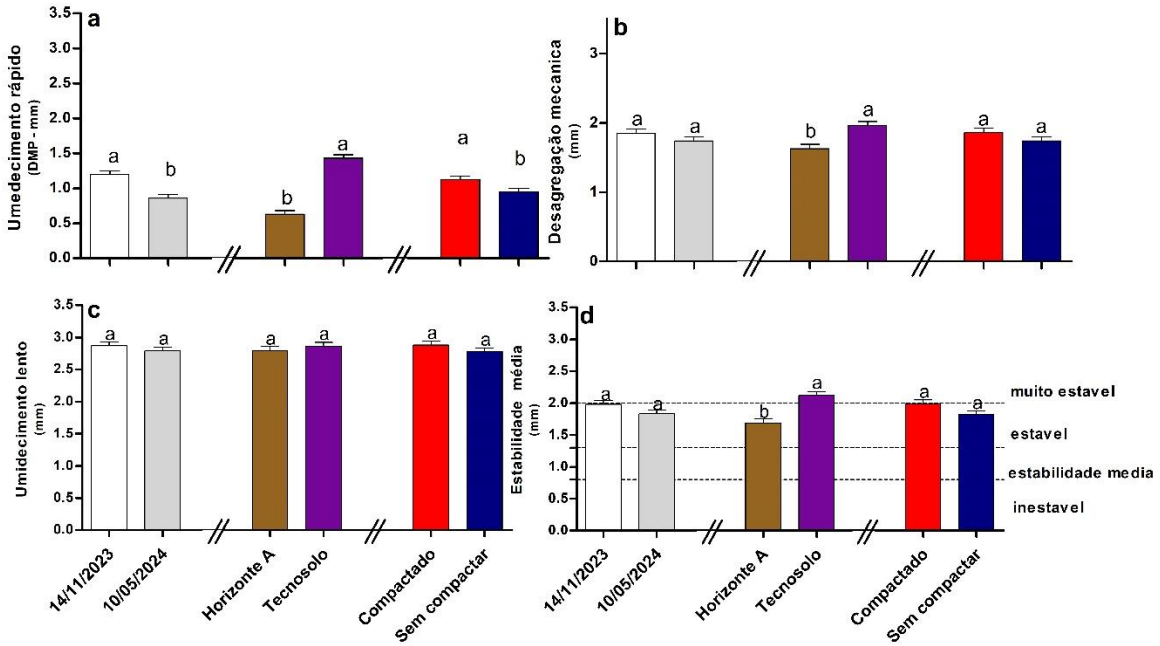


Figura 1. Estabilidade estrutural do solo **(a)** Umedecimento rápido, **(b)** Agitação em água após submersão em etanol, e **(c)** Umedecimento lento e **(d)** Estabilidade Média, nas diferentes datas de avaliação, Horizonte A e Tecnosolo, compactado e sem compactado.

A mistura dos materiais biossólidos resultou em uma densidade de partículas do Tecnosolo muito similar à do horizonte A, geralmente em torno de 2,3 g/cm³, característica de solos com alto teor de vidros vulcânicos e fitólitos. A porosidade do solo foi calculada com base na densidade de partículas, garantindo valores mais precisos. Os resultados indicaram uma porosidade em torno de 0,5 cm³/cm³, semelhante à dos

solos agrícolas da Pampa Ondulada Argentina. Observou-se um aumento da porosidade ao longo do tempo, o que pode estar relacionado à presença de vegetação, que favorece a formação de poros. Além disso, os Tecnosolos apresentaram maior porosidade do que o horizonte A, devido à sua capacidade de expansão e contração conforme o teor de matéria orgânica. O tratamento sem compactação mostrou os maiores valores de porosidade, confirmando que a compactação reduz os macroporos e pode comprometer a infiltração de água e a aeração do solo, a massa seca apresentou diferenças significativas.

A produtividade foi maior no Tecnosolo sem compactação (12,65 t ha^{-1}), enquanto no Horizonte A alcançou 8,71 t ha^{-1} em solo não compactado. Segundo Le Bissonnais (1996), a estabilidade dos agregados é considerada alta quando o diâmetro médio ponderado (DMP) é ≥ 1,36 mm; todos os tratamentos se mantiveram acima desse valor. A natureza da matéria orgânica e inorgânica é fundamental para a formação de agregados, como demonstrado por Beaudet *et al*. (2016) e Oades (1984). Annabi *et al*. (2007) observaram que compostos orgânicos de diferentes tipos e maturidades influenciam a cinética de estabilização dos agregados. Jangorzo *et al*. (2013) mostraram que o crescimento radicular em Tecnosolos promove o aumento de agregados, embora sem garantir maior estabilidade à água, semelhante ao observado em solos agrícolas.

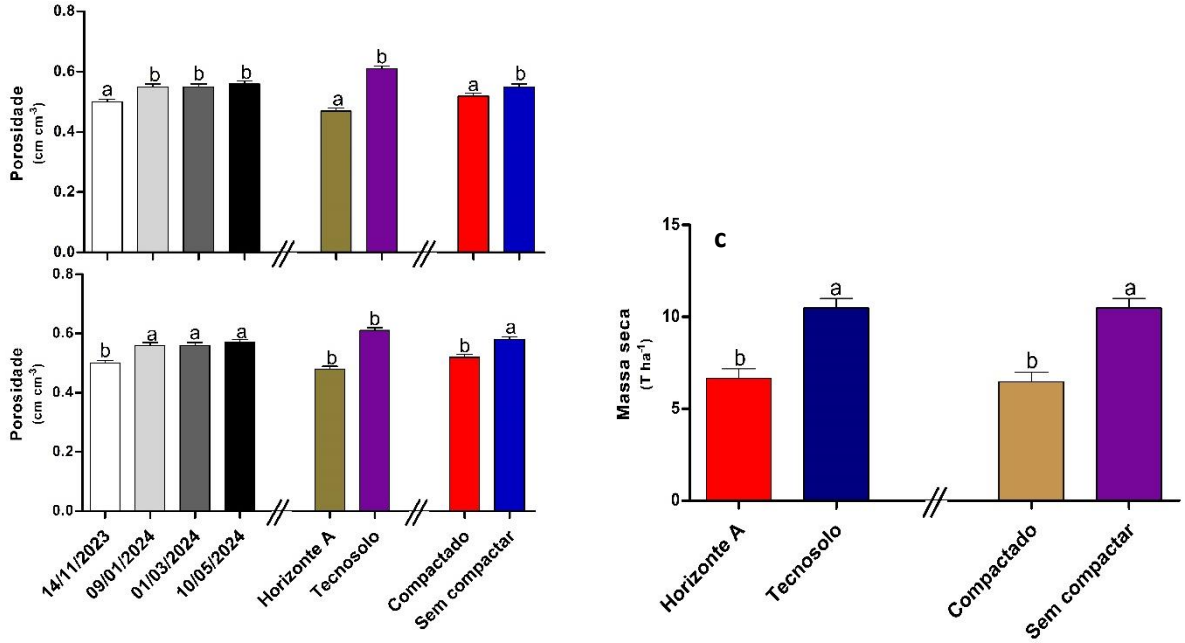


Figura 2. Porosidade de solo 0-10 cm (a), Porosidade do solo 10-20 cm (b), Massa seca (c), nas diferentes datas de avaliação, Horizonte A e Tecnosolo, compactado e sem compactado

Em nosso estudo, o desenvolvimento da biomassa vegetal foi elevado, o que permitiu observar boas diferenças no desenvolvimento das plantas nas misturas e no solo de horizonte A. Na presença de plantas, observamos um aumento na estabilidade dos agregados e melhorias na porosidade do solo, tanto no teste de umedecimento lento quanto no rápido, o que está em concordância com outros estudos (Caravaca *et al*., 2002; Rillig *et al*., 2002, 2015). Além disso, Caravaca *et al*. (2002) também observaram que, em solos degradados, a interação entre composto e plantas foi positiva para ambos os tratamentos. Observamos resultados semelhantes, uma vez que as características dos materiais utilizados neste estudo se assemelham às de solos degradado.

CONCLUSÕES

O Tecnosolo pode se apresentar como uma alternativa viável para a recuperação de áreas degradadas, demonstrando boa estabilidade do solo e alta produtividade de massa seca. Isso pode contribuir

significativamente para a reabilitação das áreas degradadas da Pampa Ondulada, resultantes da mineração ou da falta de manejo adequado do solo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e à BECAL (NOTA PNB N° 1605/2020) pela concessão das bolsas de estudo. À PRPPG (UFPR) pelos Editais de Apoio à Pesquisa (Editais 06/21 e 04/23) pelo financiamento do Projeto. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

ALBA-PATIÑO, D., CARABASSA, V., CASTRO, H., GUTIÉRREZ-BRICEÑO, I., GARCÍA-LLORENTE, M., GIAGNOCAVO, C., GÓMEZ-TENORIO, M., CABELLO, J., AZNAR-SÁNCHEZ, J.A., CASTRO, A.J. Social indicators of ecosystem restoration for enhancing human wellbeing. **Resour. Conserv. Recycl**. 174, 105782, 2021.

CARABASSA, V., DOMENE, X., DÍAZ, E., ALCAÑIZ, J.M. Mid-term effects on ecosystem services of quarry restoration with technosols under Mediterranean conditions: 10- year impacts on soil organic carbon and vegetation development. **Restor. Ecol**. 28, 960–970, 2020b.

FAO, 2019. **Recarbonization of Global Soils: A Dynamic Response to Offset Global Emissions**. Food and Agriculture Organization of the United Nations

HERNÁNDEZ, T., GARCIA, E., GARCÍA, C., 2015. A strategy for marginal semiarid degraded soil restoration: a sole addition of compost at a high rate. A five-year field experiment. Soil Biol**. Biochem**. 89, 61–71.

HOFFLAND, E., KUYPER, T.W., COMANS, R.N.J., CREAMER, R.E. Eco-functionality of organic matter in soils. **Plant Soil** 2020 (4551), 1–22, 2020.

HUESO-GONZÁLEZ, P., MUÑOZ-ROJAS, M., MARTÍNEZ-MURILLO, J.F., 2018. The role of organic amendments in drylands restoration. Curr. Opin. **Environ. Sci**. Heal, 2018.

JANGORZO, N.S., WATTEAU, F., SCHWARTZ, C. Evolution of the pore structure of constructed Technosols during early pedogenesis quantified by image analysis**. Geoderma** 207–208, 180–192, 2013.

LE BISSONNAIS, Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and M. DEEB *et al*. ***Geoderma*** *305 (2017) 305–313* erodibility: I. Theory and methodology. **Eur. J. Soil Sci**. 47, 425–437.

ORTEGA, R., DOMENE,M.A., SORIANO, M., SÁNCHEZ-MARAÑÓN, M., ASENSIO, C.,MIRALLES, I. Improving the fertility of degraded soils from a limestone quarry with organic and inorganic amendments to support vegetation restoration with semiarid Mediterranean plants. **Soil Tillage Res**. 204, 104718. 2020.

ŠÁLEK, M. Spontaneous succession on opencast mining sites: implications for bird biodiversity. **J. Appl. Ecol.** 49, 1417–1425 2012.

SMIRNOV, Y.D., SUCHKOV, D.V., GORYUNOVA, T.V. Justification of the line of action for reclamation of lands disturbed by opencast mining**. E3S Web Conf**. 266, 08009. 2021

SOLIVERES, S., GUTIÉRREZ-ACEVEDO, E., MOGHLI, A., CORTINA-SEGARRA, J., Effects of early irrigation and compost addition on soil and vegetation of a restored semiarid limestone quarry are undetectable after 13 years. **J. Arid Environ**. 186, 10440. 2021.

YE, G., LIN, Y., LIU, D., CHEN, Z., LUO, J., BOLAN, N., FAN, J., DING, W. Long-term application of manure over plant residues mitigates acidification, builds soil organic carbon and shifts prokaryotic diversity in acidic ultisols. **Appl. Soil Ecol**. 133, 24–33, 2019.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CALCÁRIO ASSOCIADO A GESSO AGRÍCOLA, SOB PLANTIO DIRETO, EM LATOSSOLO, ATUA NA DIMINUIÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO E GEOMÉTRICO EM CAMADAS SUPERFICIAIS (0-5 CM) E SUBSUPERFICIAIS (10-20 CM)

Jean Alex dos Santos[1*], Júlio Teixeira Brita[1], André Carlos Auler[4], Horácio Manfrin Mazero[3], Lucas Kussek de Aguiar[2]

[1]Mestrando, [2]Mestre e Projetista de Irrigação e [3]Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; [4]Professor adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR; *jeanalex@ufpr.br.

RESUMO

Cerca de 50% das áreas cultivadas com plantas anuais no Brasil adotam o sistema de plantio direto (SPD), que não revolve o solo, mas limita a ação de corretivos de acidez em camadas mais profundas. O gesso agrícola (GA), que não corrige a acidez, melhora o ambiente radicular em subsuperfície devido à sua solubilidade. Este estudo avaliou os efeitos do calcário de rocha moída (CRM) e silicato de rocha moída (SRM), com ou sem GA, sobre a agregação do solo em três camadas de um Latossolo em Ponta Grossa/PR. O experimento usou blocos ao acaso em arranjo fatorial (4 × 2), com amostras coletadas entre 2015 e 2022. Para a camada A (0-5 cm) CRM com GA diminui DMP e DMG. Na B (5-10 cm) não há interação entre os fatores. Para a C (10-20 cm) o efeito foi similar a camada A. Portanto, o uso de corretivos, principalmente CRM associado ao GA, aplica efeito sobre a agregação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de plantio direto; correção da acidez do solo; agregação do solo; calcário; gesso.

INTRODUÇÃO

Compreender a interação dos corretivos da acidez do solo associados ao gesso em resposta aos níveis de estabilização dos agregados de solo é de suma importância para consolidar a prática dentro das restrições implicadas pelo SPD. Entretanto, a especificidade dessa associação junto ao SPD enreda uma baixa compilações de estudo do tema (Auler, 2018). Deste modo, Auler (2018) e Araújo (2022) se dedicaram em analisar as melhorias na estrutura do solo através do efeito prolongado do calcário de rocha de rocha moída, do calcário calcinado, do silicato de rocha moída, associado com o gesso agrícola. Dos principais resultados obtidos por esses autores se destacam: os corretivos mais eficientes na redução da acidez e na estabilização dos agregados, assim como as condições hidráulicas benéficas pelos complexos de trocas iônicas no solo. Entretanto, ainda ficaram lacunas experimentais, principalmente avaliando novas reaplicações (2020/21, de Araujo, 2022).

Portanto, este trabalho visa correlacionar os efeitos da aplicação e reaplicação de CRM e do SRM associado ou não a aplicação de gesso agrícola (Araújo, 2022; Auler, 2018) com foco na identificação das lacunas sobre os parâmetros de estabilidade de agregados utilizando tamisamento úmido.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de campo foi realizado em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura argilo-arenosa de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Seus atributos, antes da instalação do experimento, podem ser consultados na pag. 34 de Auler (2018). Localizado no Campo Demonstrativo Experimental (CDE) da Fundação ABC, na cidade de Ponta Grossa-PR, nas coordenadas 25°1’0”S, 50°9’0”O. O clima na região do experimento, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido (Cfb). A estação seca é definida em agosto e a chuvosa em janeiro, a precipitação pluvial média anual é de aproximadamente 1.600 mm.

A área foi conduzida sob sistema de plantio direto (SPD) durante ao menos 14 anos, a rotação de culturas implantada na área a partir do inverno de 2010. O experimento, a partir de 2015, foi conduzido pela

seguinte rotação: Milho (2015/16), Trigo (2016), Soja (2016/17), Feijão (2017/18), Cevada (2018), Soja (2019/20) e Aveia Preta (2020), Milho (2020/21) (Araújo, 2022).

A montagem do experimento foi definida a partir de um delineamento em blocos ao acaso, apresentando os tratamentos em um arranjo fatorial (4 x 2), com três repetições. Os tratamentos se baseiam em três corretivos da acidez [calcário de rocha moída (CRM), silicato de rocha moída (SRM) e calcário calcinado (CC) mais um tratamento controle (sem aplicação), associados ou não com gesso agrícola (GA), compondo, deste modo, oito tratamentos (T1 a T8). Este trabalho analisa somente Testemunha, CRM e SRM associados ou não ao gesso agrícola (T1 a T6).

De acordo com Auler (2018), a aplicação dos insumos ocorreu, primeiramente, com a colocação superficial dos corretivos da acidez e, imediatamente na sequência, a aplicação do gesso agrícola. As doses aplicadas foram calculadas para elevar a saturação por bases a 70%, a partir das análises de solo da área.

Após o último ciclo de cultivo (2021/22), foram coletadas amostras indeformadas de solo. As amostras indeformadas foram coletadas em monólitos (0,15 × 0,10 × 0,05 m – largura, comprimento e espessura), nas camadas 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em ambiente refrigerado (10ºC). A partir das amostras já coletadas e devidamente armazenadas, em laboratório, ainda úmidos, os monólitos de solo foram manualmente desagregados, seguindo os planos de fraqueza do solo (Barreto et al., 2009). As malhas utilizadas para o tamisamento compreenderam os intervalos (em mm) de: 8-4; 4-2; 2-1; 1-2; 1-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,10 e 0,1 a 0,053. A separação das classes de agregados foi realizada por tamisamento úmido, conforme metodologia proposta por Yoder, com as adaptações para solos tropicais propostas por Castro Filho et al., (1998). Ao total, foram definidas 5 classes: (i) Mega agregados, até 8 mm; (ii) macroagregados grandes, entre 8 e 2 mm; (iii) macroagregados pequenos, entre 2 e 0,25 mm; (iv) microagregados grandes, entre 0,25 e 0,10 mm (v) e microagregados pequenos, aqueles entre 0,10 e 0,053 mm).

Na sequência, as massas de solo retidas em cada peneira foram separadas em copos plásticos e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar (60º C). Após a secagem, com as proporções de massas secas de cada classe de agregados, será determinado o diâmetro médio ponderado (DMP), geométrico (DMG), conforme Castro Filho et al., (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na camada A (0 a 5 cm), foi observada interação entre os fatores, portanto, foi realizado o desdobramento desses fatores, os resultados podem ser observados nas tabelas 1 e 2. Entretanto, não houve diferença significativa para os macroagregados, portanto, esse dado foi suprimido da tabela.

Como pode ser observado, o CRM aplicado com gesso, levou a uma diminuição do DMP e DMG, ao passo que sem o gesso, nenhum tratamento apresentou diferença significativa.

Tabela 1. Desdobramento: corretivos dentro de cada nível de gesso na camada A.

Variável	Com Gesso			Sem Gesso		
	Testemunha	CRM	SRM	Testemunha	CRM	SRM
DMP (mm)	8.86 a	7.80 b	9.14 a	8.29 A	7.83 A	7.42 A
DMG (mm)	2.13 a	1.93 b	2.14 a	2.00 A	1.93 A	1.85 A
Micro Agg (%)	3.15 b	4.51 a	3.42 b	4.34 A	4.27 A	4.76 A

Médias seguidas de mesma letra, minúscula para “com gesso” e maiuscula para “sem gesso”, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Tabela 2. Desdobramento: gesso dentro de cada nível de corretivo na camada A.

Variável	Testemunha		CRM		SRM	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
DMP (mm)	8.86 A	8.29 A	7.80 a	7.83 a	9.14 A	7.40 B
DMG (mm)	2.13 A	2.00 A	1.93 a	1.93 a	2.14 A	1.85 B
Micro Agg (%)	3.15 B	4.34 A	4.51 a	4.27 a	3.42 B	4.76 A

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula para "testemunha", minúscula para "CRM" e maiuscula novamente para "SRM", não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Os resultados encontrados para o DMP, são consistentes aos encontrados por Auler (2018) ao analisar esta variável na mesma camada de solo 15 meses após a aplicação dos corretivos e gesso agrícola, reafirmando que os efeitos dos corretivos e do gesso agrícola no solo dependem de tempo para que a reação ocorra.

Tabela 3. Efeito isolado na camada B.

Variável	Corretivo de Acidez			Gesso Agrícola	
	Testemunha	CRM	SRM	Com	Sem
DMP (mm)	7.69 B	9.05 A	8.45 AB	8.43 a	8.36 a
DMG (mm)	1.94 B	2.13 A	2.02 AB	2.04 a	2.02 a
Macro Agg (%)	96.45 A	96.53 A	95.91 A	96.61 a	95.98 b
Micro Agg (%)	3.54 A	3.46 A	4.08 A	3.38 b	4.01 a

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula para "corretivos de acidez" e minúscula para "gesso agrícola", não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Na camada C (10 a 20 cm), foi observada interação entre os fatores, portanto, foi realizado o desdobramento desses fatores, os resultados podem ser observados nas tabelas 4 e 5.

Para a camada C, conforme tabela 4, observa-se que o CRM aplicado com gesso, levou a uma diminuição do DMP e DMG, apresentando mais microagregados e menos macroagregados quando comparado ao SRM.

Tabela 4. Desdobramento: corretivo dentro de cada nível de gesso na camada C.

Variável	Com Gesso			Sem Gesso		
	Testemunha	CRM	SRM	Testemunha	CRM	SRM
DMP (mm)	8.64 a	7.28 b	8.86 a	7.16 A	8.35 A	7.47 A
DMG (mm)	2.06 a	1.79 b	2.12 a	1.82 A	2.01 A	1.87 A
Macro Agg (%)	96.62 ab	95.78 b	96.78 a	95.52 B	96.94 A	96.17 AB
Micro Agg (%)	3.37 ab	4.21 a	3.21 b	4.47 A	3.05 B	3.82 AB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula para "com gesso" e maiuscula para "sem gesso", não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Tabela 5. Desdobramento: gesso dentro de cada nível de corretivo na camada C.

Variável	Testemunha		CRM		SRM	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
DMP (mm)	8.64 A	7.16 B	7.28 b	8.35 a	8.86 A	7.47 B
DMG (mm)	2.06 A	1.82 B	1.79 b	2.01 a	2.06 A	1.82 B
Macro Agg (%)	96.62 A	95.52 B	95.78 b	96.94 a	96.78 A	96.17 A
Micro Agg (%)	3.37 B	4.47 A	4.21 a	3.05 b	3.21 A	3.82 B

Médias seguidas de mesma letra, maiuscula para "testemunha", minúscula para "CRM" e maiuscula novamente para "SRM", não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Como pode ser observado também na tabela 5, a aplicação de gesso com CRM levou a uma diminuição do DMP, DMG e macroagregados.

De acordo com a literatura, em solos tropicais com carga variável, o aumento do pH devido à calagem pode intensificar a dispersão de argilas, o que reduz o DMP do solo (Castro Filho; Logan, 1991; Roth; Pavan, 1991). Esse fenômeno ocorre porque o aumento do pH gera uma elevação nas cargas negativas do solo (Sparks, 2003), predominando cargas negativas que promovem a dispersão de argilas (Six et al., 2004).

Contudo, tais efeitos são temporários, ocorrendo pouco tempo após a aplicação do corretivo. Com o tempo, pode surgir nova floculação das partículas de argila. Isso acontece porque a alta concentração de $Ca^{2}+$ e $Mg^{2}+$, a precipitação de hidróxidos de Al carregados positivamente [$Al(OH)_{2}+$], e a elevada força iônica da solução do solo, resultantes da calagem, comprimem a dupla camada difusa, diminuindo a repulsão entre partículas e aumentando a floculação e a estabilidade estrutural (Roth; Pavan, 1991; Six et al., 2004; Briedis et al., 2012).

CONCLUSÕES

Compreendendo a hipótese que o efeito prolongado da aplicação e reaplicação de corretivos de acidez e gesso agrícola atuam sobre a agregação do solo, foi concluído, após a análise dos dados, que sim, existe efeito e que a aplicação de CRM + GA diminui o DMP e DMG nas camadas de 0 a 5 cm e de 10 a 20 cm.

BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, R.B. **Agregação do solo sob efeito da reaplicação dos corretivos da acidez do solo e do gesso agrícola em plantio direto.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), 2022 – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/79600. Acesso em: 05 mar. 2025.

AULER, A. C. **Efeitos de corretivos da acidez do solo associados ao gesso agricola sobre os atributos físicos e químicos do solo.** Tese. 2018.

BARRETO, R. C.; et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO2 in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, p. 243- 251, 2009.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; QUADROS NETO, C.; FERREIRA, A. O.; CANALLI, L. B.; SANTOS, J. B. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v. 170, p. 80–88, 2012a.

CASTRO FILHO, C; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, Al. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

ROTH, C.; PAVAN, M. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v. 48, p. 351–361, 1991.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, p. 7–31, 2004.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, p. 7–31, 2004.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. 2. Ed. San Diego: Elsevier Science, 2003.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE COBERTURA

Emilia Giustiniani[1], Eduarda Camile De Lima[2], Guilherme de Souza Sotsek[3], Anna Cecília Ferreira Stremel[4], André Carlos Auler[5*]

[1]Doutoranda da Universidade de Buenos-Aires, [2]Graduanda em Agronomia, UFPR, [3]Mestrando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Mestranda PPG em Ciência do Solo, UFPR, [5]Professor, UFPR, e-mail: auler@ufpr.br.

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a agregação do solo após o cultivo de plantas de cobertura de inverno em um sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). O plantio convencional (PC) tem causado a degradação do solo ao longo do tempo, resultando em perda de produtividade das culturas e comprometimento das propriedades físicas do solo. O SPD, envolve o uso de plantas de cobertura e preparo mínimo do solo, assim mostrado ser uma alternativa promissora para mitigar esses problemas. O experimento foi conduzido em solo Cambissolo Háplico Distrofico, utilizando diferentes espécies de plantas de cobertura. Após 60 dias de cultivo, análises de agregação do solo mostraram que, embora não houvesse diferenças significativas devido às plantas de cobertura nas camadas superficiais 0-10 cm, houve variações significativas nas profundidades de 10-20 cm, indicando que os efeitos do SPD sobre a agregação do solo podem ser mais perceptíveis com o tempo.

PALAVRAS-CHAVE: conservação de solo; hortaliças; estrutura do solo.

INTRODUÇÃO

Devido ao plantio convencional (PC), a degradação do solo provoca perdas na produtividade das culturas, além de causar distúrbios nos agregados e em outros parâmetros físicos do solo. A reversão desse quadro pode ser alcançada por meio de tecnologias como o sistema de plantio direto (SPD), que envolve o preparo mínimo do solo e a prática da rotação de culturas (MORETI *et al*., 2007; MACEDO, 2009). Nesse sentido, o manejo conservacionista, incluindo o uso de plantas de cobertura e o SPD, tem se mostrado eficaz na conservação da água, na melhoria das propriedades físicas e químicas do solo e na rentabilidade das produções agrícolas em nível mundial (JIN *et al*., 2018; WANG *et al*., 2021).

Na produção de hortaliças, tais problemas são agravados devido ao curto ciclo das culturas comerciais, à baixa produção de palhada, à intensa movimentação do solo e ao cultivo em pequenas áreas. Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolver métodos de manejo conservacionista adaptados a essa realidade. O Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) tem sido difundido para algumas culturas; estudos já foram realizados com o plantio de brócolis, berinjela e couve-flor (MELO *et al*., 2010; ECHER *et al*., 2016; SCHULTZ *et al*., 2020).

Quando comparado aos sistemas convencionais de cultivo de hortaliças, o SPDH apresenta impactos ambientais positivos, especialmente no uso de recursos naturais, com destaque para a redução da necessidade de água para irrigação, do consumo de eletricidade, da aplicação de fertilizantes hidrossolúveis (NPK) e da necessidade de calagem, entre outros fatores (LIMA *et al*., 2014).

As plantas de cobertura são fundamentais para o sucesso da adoção do SPDH. Estudos realizados apontam, por exemplo, que o uso da aveia-preta (cv. Embrapa 139) como planta de cobertura favorece a ciclagem de nutrientes no cultivo de couve-flor em SPD, devido ao elevado acúmulo e posterior liberação de N, P e K (SCHULTZ *et al*., 2020).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a agregação do solo após o cultivo de plantas de cobertura de inverno em um sistema de plantio direto de hortaliças.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do Canguiri (25º 23' S, 49º 08' O), em Pinhais PR, em um solo Cambissolo Háplico Distrófico Tb típico, com relevo suave e textura argilosa. O clima é subtropical úmido (Cfb), Alvares *et al*. (2013).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições, incluindo dez espécies de plantas de cobertura e dois controles: plantio convencional com revolvimento do solo; e cultivo sem revolvimento e sem cobertura, mantendo apenas vegetação espontânea. As plantas foram semeadas manualmente em abril de 2024, em linhas espaçadas 20 cm, com densidade 1,5 vezes a recomendada. As espécies foram: EF - ervilha forrageira (*Pisum sativum* ssp. *arvense*), EC - ervilhaca comum (*Vicia sativa*), TB - tremoço-branco (*Lupinus albus*), NF - nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *comum* e var. *pé de pato*), AP - aveia-preta (*Avena strigosa*), AB - aveia-branca (*Avena sativa*), T - triticale (*Triticosecale* W.), TM - trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*) e um MIX comercial (aveia-branca, ervilha forrageira e nabo comum). Antes da semeadura, as parcelas receberam 5 Mg ha^{-1} de cama de frango. O cultivo foi irrigado por aspersão duas vezes ao dia, com lâminas de 4 a 7 mm h^{-1}. Sessenta dias após o plantio, foi feito o manejo das coberturas e a coleta de agregados de solo em duas profundidades (0–10 cm e 10–20 cm), com mínima perturbação. No laboratório, os monólitos foram desagregados manualmente em condições úmidas, seguindo Barreto *et al*. (2009), e peneirados em malha de 8 mm. O material retido (> 8 mm) foi descartado.

Os agregados foram separados em classes de tamanho (4–8; 2–4; 1–2; 0,5–1; 0,25–0,5; 0,053–0,25 mm) em condições úmidas, conforme Yoder (1936), com adaptações para solos tropicais (Castro Filho *et al*., 1998), foram feitas quatro repetições por amostra. As frações foram secas em estufa a 50 ºC e usadas para calcular as proporções de massa seca e o diâmetro médio ponderado (DMP). As pressuposições de normalidade e homogeneidade foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett. Atendidas essas condições, aplicou-se o teste F e o teste de Tukey para comparações múltiplas. As análises foram feitas no software R, versão 4.1 (R CORE TEAM, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O DMP não apresentou diferenças significativas entre as plantas de cobertura, mas os dados apresentaram diferenças significativas entre as profundidades (0-10 e 10-20 cm). Na profundidade de 10-20 cm foi destacado por apresentarem maior DMP entre os tratamentos (Figura 1a), resultados similares foram encontrados para as classes de agregados. Estes resultados denotam que nestas condições as diferentes culturas de plantas de cobertura ainda não demonstraram influenciar diretamente nas classes de agregados. No entanto é possível notar diferenças significativas em relação as diferentes profundidades avaliadas, com resultados mais evidentes na profundidade de 10-20cm (Figura 1c).

Já para os macros agregados (> 2mm), observou-se do mesmo modo um efeito significativo na profundidade de 10-20cm ($p > 0.004$), e não apresentou diferenças significativas para os tratamentos de plantas de cobertura. Para os macros agregados pequenos (<2 - 0.25mm), novamente apresentou efeito significativo só na profundidade de 10-20cm (> 0.002), e finalmente os micros agregados (< 0.25mm), também apresentaram diferenças significativas só na profundidade de 10-20cm com um ($p > 0.011$) (Figuras 1b e 1c). Com isso pode se descartar totalmente a possibilidade de haver algum tipo de influência da planta de cobertura nas classes de agregados até na profundidade de 0-10cm.

No entanto vários fatores podem ter influenciado nestes resultados devido principalmente ao curto tempo de implantação do experimento, fato que pode ser observado no estudo feito sobre a análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto, cujo a conclusão nos mostra que o SPD se mostra

consolidado aproximadamente entre o 9º e o 10º ano de sua implantação (Pereira *et al.*, 2007), além disso, outro fator que pode ter influenciado para este resultado são as características do solo principalmente nas camadas mais superficiais, as quais não demonstraram nenhum tipo de resultado influente devido as diferentes plantas de cobertura.

A semeadura de plantas de cobertura do solo com sistema radicular abundante e vigoroso pode ser uma alternativa aos métodos mecânicos (Abreu *et al*., 2004; Hamza & Anderson, 2005), com benefícios adicionais por reciclarem nutrientes no perfil, aportarem matéria orgânica (Fageria *et al*., 2005) e melhorarem a estabilidade dos agregados, conferindo ao solo maior porosidade e resistência mecânica (Camargo & Alleoni, 1997; Bronick & Lal, 2005; Villamil *et al*., 2006).

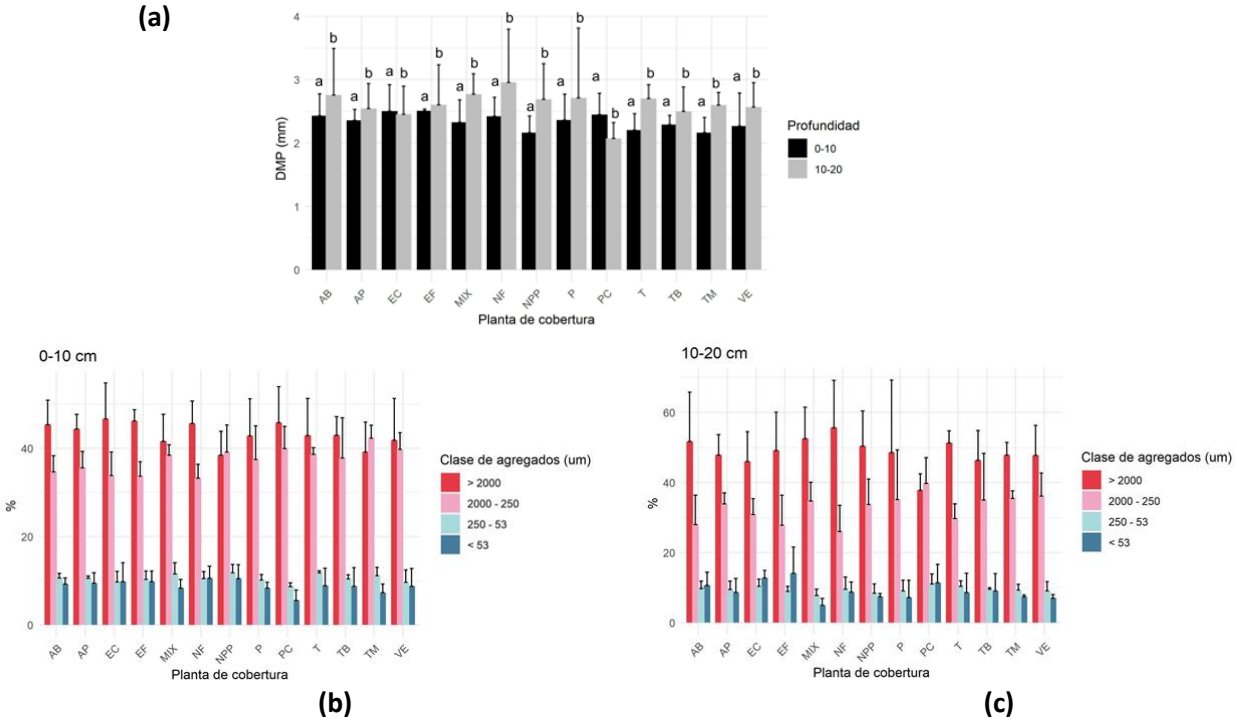


Figura 1. (a) DMP e distribuição de classes de agregados por tamanho do solo nas profundidades (b) classe de agregados em relação as coberturas em profundidade 0-10 cm, (c) classe de agregados em relação as coberturas em profundidade 10-20 cm.

CONCLUSÕES

Com isso podemos concluir que, as diferentes plantas de cobertura não demonstram nenhum efeito direto e significativo aos agregados de solo, principalmente na camada 0-10 cm e que demonstraram pouca diferença em DMP comparado a camada 10-20cm que já demonstra níveis melhores de DMP.

AGRADECIMENTOS

À Capes, ao CNPq e a UBA pela concessão das bolsas de estudos. À Fundação Agrisus pelo financiamento do Projeto (PA 3698/23). Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519–531, 2004.

ÁLVAREZ, M. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BARRETO, R. C. *et al*. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO_2 in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 132, n. 3–4, p. 243–251, 2009.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3–22, 2005.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: Potafós, 1997. 132 p.

CASTRO FILHO, C. D. *et al*. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527–538, 1998.

ECHER, M. M. *et al*. Desempenho de cultivares de berinjela em plantio direto e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 239–243, 2016.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; BAILEY, B. A. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, p. 2733–2757, 2005.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, p. 121–145, 2005.

JIN, H. *et al*. Research progress of conservation tillage technology and machine. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery**, v. 49, n. 4, 2018.

LIMA, C. E. P. *et al*. **Avaliação de impactos ambientais com o Ambitec-Agro**: estudo de caso do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2014. 24 p.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133–146, 2009.

MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 23–28, 2010.

MORETI, D. *et al*. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 167–175, 2007.

PEREIRA NETO, O. C. *et al*. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 489–496, 2007.

R CORE TEAM. *R:* **A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

SCHULTZ, N. *et al*. Produção de couve-flor em sistema plantio direto e convencional com aveia preta como planta de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30107–30122, 2020.

VILLAMIL, M. B. *et al*. No-till corn/soybean systems including winter cover crops: effects on soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 1936–1944, 2006.

WANG, X. *et al*. Short-term subsoiling effects with different wing mounting heights before winter wheat on soil properties and wheat growth in Northwest China. **Soil and Tillage Research**, v. 213, p. 105151, 2021.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losse. **Agronomy Journal**, v. 28, n. 5, p. 337–351, 1936.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DESAGREGAÇÃO POR IMPACTO DE GOTAS: MÉTODO PARA ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS SOB PLANTIO DIRETO NO PARANÁ

Angelica Lorini[1*], Paulo Wesley Czanoski[2], Maria Vitoria Sovrani[1], Miguel David Fuentes-Guevara[3], Cristiano Andre Pott[4]

[1] Mestranda do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [2] Aluno de graduação em Agronomia da UNICENTRO, [3] Pesquisador Pós-Doc do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [4] Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO. * Email: angelicalorini25@gmail.com

RESUMO

Este estudo utilizou metodologia do impacto de gotas para avaliar a estabilidade de agregados (EA) em diferentes sistemas de manejo do solo. Amostragem foi realizada em macroparcelas com (CT) e sem (ST) terraço pertencentes ao projeto NAPI-PROSOLO do Paraná. Para cada ponto amostral, foram coletados blocos de solo da camada de 0-0,10 m, que foram peneirados para selecionar 100 agregados da classe de 4,75–4,00 mm. A EA foi avaliada utilizando um gotejador de carga constante, baseado no princípio de Mariotte, que permitiu quantificar o número de gotas necessário para desagregar 50% dos agregados. Os resultados indicaram que, nos municípios de Ponta Grossa e Dois vizinhos, a macroparcela ST apresentou menor resistência à desagregação, necessitando de um menor número de gotas. Já em Guarapuava e Cambé, a menor resistência foi observada na macroparcela CT. Além disso, verificou-se uma correlação entre o número de gotas e o teor de carbono orgânico.

PALAVRAS-CHAVE: erosão hídrica; carbono orgânico do solo; gotejador de carga constante; qualidade física do solo.

INTRODUÇÃO

O plantio direto é o sistema de manejo conservacionista mais utilizado no Brasil, com mais de 32 milhões de hectares (Merten *et al.*, 2015). Baseado na mínima perturbação do solo, cobertura permanente e rotação de culturas, é essencial para o controle da erosão e a melhoria da qualidade do solo.

A EA é um indicador chave da qualidade física do solo e depende do manejo adotado. Métodos precisos para sua quantificação são necessários para avaliar o impacto de práticas conservacionistas. O método de impacto de gotas tem demonstrado potencial para descrever a dinâmica dos agregados, mas requer mais estudos em diferentes condições de solo e clima. Este trabalho busca avaliar sua eficácia na mensuração da EA em solos do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram coletadas em Guarapuava, Dois Vizinhos, Cambé e Ponta Grossa, em áreas do projeto Manejo e conservação do solo e da água no estado do Paraná - NAPI-PROSOLO. As coletas foram realizadas em três áreas de cada município: macroparcela sob SPD sem terraços (ST), macroparcela com SPD cultivado com terraços em nível (CT) e uma área de referência com vegetação nativa (APP). Blocos de solo (0,10 x 0,10 x 0,10 m) foram retirados da camada superficial (0-0,10 m) nos terços superior, médio e inferior de cada macroparcela. Após secagem, as amostras foram peneiradas (4,75-4 mm), selecionando-se 100 agregados por ponto amostral.

A EA foi avaliada por impacto de gotas usando um gotejador de carga constante baseado no princípio de Mariotte. O critério de desagregação foi a passagem total do agregado por uma peneira de 2,8 mm que representa 50% de desagregação.

Os dados foram analisados no software R Studio. A comparação de médias utilizou intervalos de confiança (IC) da média; diferenças foram consideradas significativas ($p<0,05$) quando não houve sobreposição entre os limites superior e inferior dos ICs (Payton *et al*., 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em Guarapuava, a macroparcela CT apresentou menor EA, possivelmente devido ao efeito da construção dos terraços em área de SPD consolidado. Esta região, com solos muito argilosos (757 g kg^{1} de argila) apresentou maior resistência à desagregação, com média de 200 gotas, o que reduz o potencial de perdas por erosão hídrica.

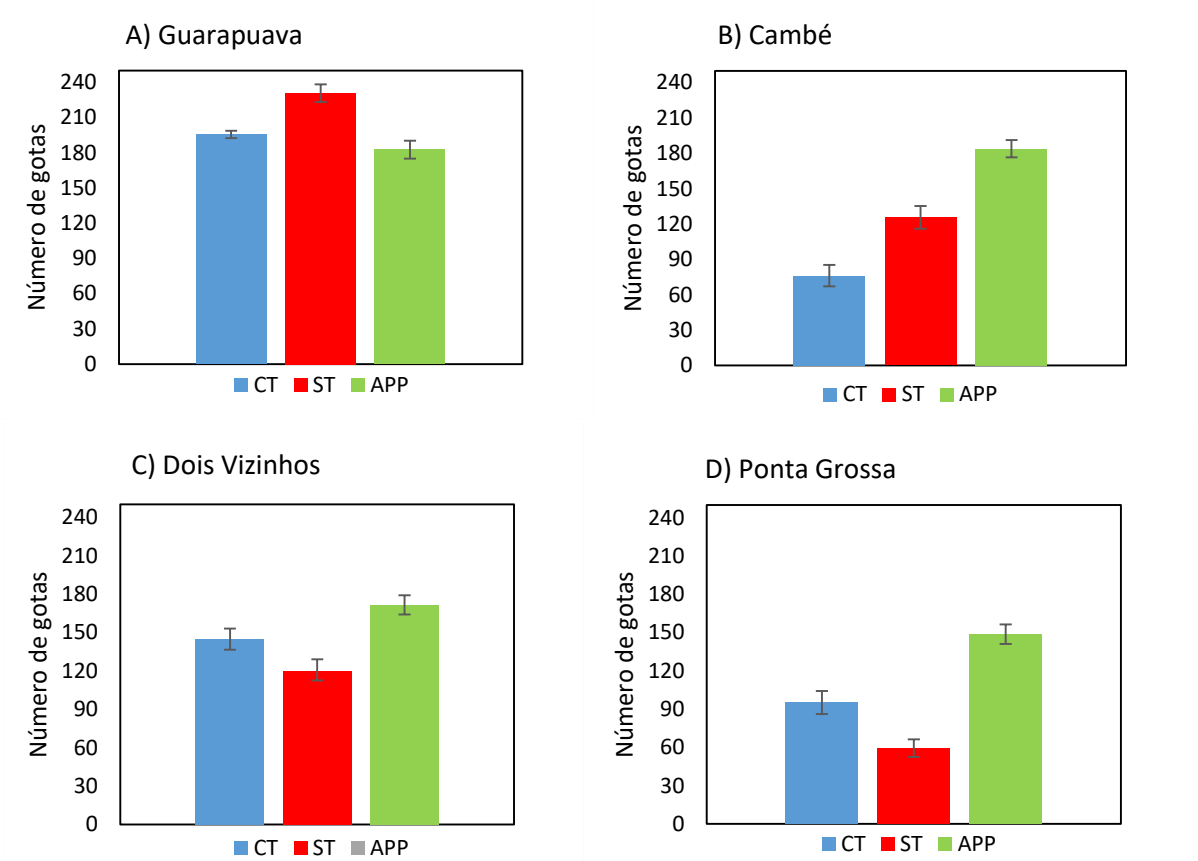


Figura 1. Número de gotas necessários para desagregação de agregados do solo em quatro municípios do Paraná. CT: plantio SPD com terraços; ST: plantio SPD sem terraços; APP: área de preservação permanente. A) Guarapuava; B) Cambé; C) Dois Vizinhos; D) Ponta Grossa.

Em Cambé, a menor EA também foi observada na macroparcela CT, sugerindo influência da construção dos terraços. Esse município apresentou a menor resistência entre as quatros regiões estudadas, provavelmente devido ao maior grau de intemperismo dos solos, que apresentam altos teores de argila e menores teores de matéria orgânica.

Em Dois Vizinhos, a macroparcela ST exigiu o menor número de gotas para desagregação, possivelmente devido à remoção dos terraços da área, que necessitou de revolvimento do solo para retirar os terraços da macroparcela, haja visto que toda a bacia hidrográfica dessa área apresentava terraceamento, assim alterou a estrutura do solo, tornando os agregados mais frágeis.

Em Ponta Grossa, a macroparcela CT necessitou, em média, 100 gotas para ocorrer a desagregação dos agregados, apesar de apresentar textura média (285 g kg^{-1} de argila).

As diferenças entre os municípios refletem variações no clima, relevo e composição do solo. A presença de cátions como o ferro e potássio atua como agente cimentante, promovendo a EA, assim como o teor e o

tipo de argila (Ayoubi *et al.*, 2022). Além disso, fatores como formato, massa, umidade e matéria orgânica influenciam a resistência dos agregados ao impacto de gotas. A desagregação ocorre principalmente por hidratação rápida e impacto mecânico das gotas de chuva, afetando s funções essenciais do solo (Li *et al.*, 2024).

Observou-se uma correlação positiva entre o número de gotas e o teor de carbono orgânico nos quatro municípios (Figura 2). O carbono orgânico atua como um agente cimentante, promovendo a coesão entre as partículas do solo e aumentando a EA, essenciais para a qualidade do solo (Liu *et al.*, 2023).

Solos com maior teor de carbono orgânico apresentam agregados mais estáveis e resistentes à erosão, além de melhor porosidade e infiltração de água (Tan *et al.*, 2024). A decomposição da matéria orgânica libera substâncias que fortalecem a ligação entre as partículas, aumentando a resistência dos agregados (Zhu *et al.*, 2025). Práticas como o uso de culturas de cobertura e a adição de matéria orgânica são eficazes para melhorar a EA e a saúde do solo.

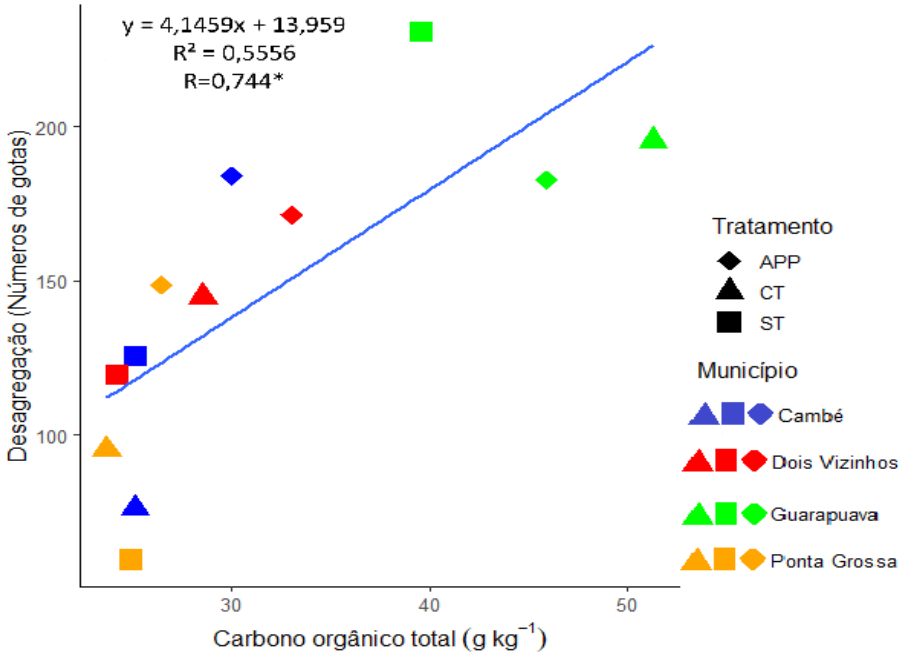


Figura 2. Correlação entre o carbono orgânico do solo e o número de gotas necessária para desagregação dos agregados nos diferentes solos do Paraná. CT: plantio SPD com terraços, ST: plantio SPD morro abaixo, APP: área de preservação permanente. *Correlação de Pearson significativa (p<0,01).

Estudos indicam que os agregados do solo protegem o estoque de carbono orgânico, cuja concentração varia conforme os tamanhos das partículas. Práticas de manejo, como preparo do solo, culturas de cobertura e fertilização, influenciam a estrutura do solo (Tan *et al.*, 2024).

CONCLUSÕES

O número de gotas necessário para desagregação variou conforme o manejo e as características do solo. Em Dois Vizinhos e Ponta Grossa, a menor EA foi observada na macroparcela CT, enquanto em Guarapuava e Cambé, a macroparcela ST apresentou maior resistência dos agregados. O número de gotas necessário para desagregar os agregados mostrou correlação positiva com o teor de carbono orgânico, evidenciando seu papel na resistência do solo à desagregação e erosão. Os resultados indicam que o método de impacto de gotas é eficaz para avaliar EA em diferentes sistemas de manejo e tipos de solo no Paraná.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo do Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da Unicentro pela ajuda na condução da pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3 e a CAPES pela conceção de bolsa de mestrado da primeira autora (Código de financiamento 001).

BIBLIOGRAFIA

AYOUBI, S.; MILIKIAN, A; MOSADDEGHI, M; ZERAATPISHEH, M; ZHAO, S. Impacts of Clay Content and Type on Shear Strength and Splash Erosion of Clay–Sand Mixtures. **Minerals**, v. 12, n. 11, p. 1339, nov. 2022.

LI, X; FAN, H; WANG, P; LI, A; YANG, G; ZHANG, G. Interactive effect of soil dispersity and rainfall intensity on splash erosion: Insights from laboratory tests. **CATENA**, v. 238, p. 107843, 15 abr. 2024.

LIU, C; JIN, Y; LIN, F; JIANG, C; ZENG, X. Land use change alters carbon and nitrogen dynamics mediated by fungal functional guilds within soil aggregates. **Science of The Total Environment**, v. 902, p. 166080, 1 dez. 2023.

MERTEN, G. H; ARAUJO, A. G; BISCAIA, R. C. M; BARBOSA, G. M. C; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 85–93, 1 set. 2015.

PAYTON, M. E.; MILLER, A. E.; RAUN, W. R. Testing statistical hypotheses using standard error bars and confidence intervals. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 31, n. 5–6, p. 547–551, mar. 2000.

TAN, M; LI, W; ZONG, R; LI, X; HAN, Y. Long-term mulched drip irrigation enhances the stability of soil aggregates by increasing organic carbon stock and reducing salinity. **Soil and Tillage Research**, v. 240, p. 106069, 1 ago. 2024.

ZHU, X; SHEN, Y; YUAN, X; SINGH, A; JIN, L; YANG, B; YUAN, C; JIANG, X; LIU, W. Divergent responses of soil aggregate-associated organic carbon fractions and carbon flow pathways to land-use changes in karst ecosystems: Insights from δ13C signature. **Catena**, v. 249, p. 108695, 1 fev. 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO E CLASSES DE AGREGADOS DE UM SOLO FRANCO ARENOSO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE BENTONITA EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CAFÉ

Guilherme de Souza Sotsek* (sotsek@ufpr.br), André Carlos Auler[2], Horácio Manfrin Mazero[3], Roberta de Morais Mendes[4]

[1]Mestrando PPG Ciência do Solo, UFPR, email: sotsek@ufpr.br. [2] Professor, UFPR. [3]Doutorando PPG Ciência do Solo, UFPR. [4]Graduanda em Agronomia, UFPR.

RESUMO

Esse estudo teve como foco de verificar e entender a interação que a aplicação da bentonita, que é um condicionador de solo, tem no diâmetro médio ponderado e no tamanho dos agregados de um solo franco arenoso em um sistema de produção de café localizado em Minas Gerais (MG), Brasil. A análise realizada foi a estabilidade dos agregados em água conforme metodologia proposta por Yoder (1936), com adaptações segundo Castro Filho *et al*. (1998) e descrito por Teixeira *et al*. (2017). As variáveis analisadas foram o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos agregados e o peso dos agregados. Os resultados demonstraram que o DMP dos agregados teve diferenças apenas entre blocos e apenas os macroagregados pequenos demonstraram ter diferenças a partir da aplicação do produto. Conclui-se que a estabilidade e a formação dos agregados são dependentes de um conjunto de fatores, e não apenas da ação de um único argilomineral.
PALAVRAS-CHAVE: estabilidade; agregados; bentonita; argilomineral.

INTRODUÇÃO

Agregados são constituintes cruciais do solo e tem uma função significativa em regular processos relacionados a água, nutrientes, ar e calor no solo (Sun *et al*., 2023). Eles participam da estrutura do solo e a estrutura possui efeitos na produtividade e saúde desse ambiente (Zhao *et al*., 2017). A medição da estrutura do solo normalmente depende da estabilidade dos agregados (Wang *et al*., 2022). Esse parâmetro é um fator chave não apenas para fatores ambientais mas para também melhorar o crescimento das culturas agrícolas e suas produtividades (Aksakal *et al*., 2020).

E considerando os objetivos desse trabalho, para aumentar a produtividade das culturas e até para melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (Tripathi *et al.,* 2023) considera-se como opção os condicionadores de solo. Nesse trabalho foi utilizado o condicionador de solo que possui como base a bentonita. A bentonita é um tipo de argilomineral que se apresenta em uma estrutura denominada de filossilicato (Mi *et al*. 2017) e que é constituído em sua grande maioria pelo mineral montmorilonita (El-Nagar e Sary, 2021). Essas características químicas diversificadas podem ser interessantes para diversos tipos de uso. Na área da agricultura, por exemplo, ela pode ser usada como recobridor de fertilizantes para evitar perdas de potássio no solo (Auler *et al*., 2023) e como um condicionador de substratos para desenvolvimento de mudas de plantas (Mazero *et al*., 2023).

Assim, esse estudo teve como foco de verificar e entender a interação que aplicação da bentonita tem na estabilidade e na formação de agregados de um solo franco arenoso em um sistema de produção de café. Foi avaliado se a bentonita participa de alguma forma na estabilização e formação dos agregados. As aplicações das doses de bentonita (0, 1, 5, 10, 20 e 30 Mg ha^{-1}) ocorreram no preparo do solo antes da cultura em uma fazenda produtora de café em Minas Gerais (MG).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma lavoura de café em Minas Gerais (MG), Brasil, no município de Campos Altos na Fazenda Amizade e está sendo realizado em parceria com a empresa T-MINAS. O solo da área experimental possui relevo ondulado, pertence a classe textural franco arenoso e é cascalhento. O

experimento foi instalado sob o Delineamento em Blocos Casualizados e os tratamentos foram as doses de bentonita aplicadas ao solo correspondentes a 0, 1, 5, 10, 20 e 30 Mg ha^{-1}. A bentonita utilizada foi a bentonita T-COND QB41 da T-MINAS. Quatro repetições foram atribuídas para cada tratamento, resultando em um total de 24 parcelas.

Esse experimento foi instalado no final do ano de 2021 a partir do preparo do solo e a aplicação do condicionador, e as mudas foram plantadas em janeiro de 2022. Já as coletas para as análises ocorreram em maio de 2024, durante a primeira colheita da cultura. Amostras de solo deformadas foram coletadas nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm de profundidade. Primeiro os sulcos foram abertos utilizando uma polaca cavadeira e depois os agregados foram coletados a partir de monólitos com o uso de uma espátula. Realizou-se a separação dos agregados em classes (4–8; 2–4; 1–2; 0,5–1; 0,25–0,5; 0,053–0,25 mm) em condições úmidas, conforme a metodologia proposta por Yoder (1936), com adaptações para solos tropicais segundo Castro Filho *et al*. (1998) e descrito por Teixeira *et al*. (2017). Foram realizadas quatro repetições para cada amostra. As frações de solo retidas em cada peneira foram colocadas em recipientes plásticos e secas em estufa com circulação de ar forçado (60 ºC). Após a secagem, calcularam-se as proporções de fração seca de cada classe de agregados e o diâmetro médio ponderado (DMP). As classes de agregados foram compiladas como: macroagregados grandes (2-8 mm), macroagregados pequenos (0,25-2 mm), microagregados grandes (0,105-0,25 mm) e microagregados pequenos (0,053-0,105 mm).

Foram realizados os testes de normalidade de resíduos e de homoscedasticidade de Shapiro-Wilk e Bartllett, respectivamente. Na sequência foi aplicada a ANOVA e análise de regressão aos dados de cada camada avaliada com o auxílio do software R (R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os macroagregados pequenos foram os agregados que apresentaram algumas diferenças entre suas médias (Figura 1). Esse resultado indica que a bentonita pode agir de alguma forma na formação de agregados com tamanho maior que 0,25 mm. Segundo Roshan *et al*. (2022), a formação de agregados acontece principalmente devido a atração eletrostática oriundo das diferenças de carga produzidas pela protonação/desprotonação dos grupos funcionais terminais das lâminas tetraédricas e octaédricas dos argilominerais.

E essa característica de atração eletrostática pode ter sido um fator que foi determinado pelas características da bentonita (CTC e pH) adicionada, fazendo com que os agregados conseguissem se aproximar, aumentar de tamanho e, consequentemente, aumentar de peso. Uma das razões para que os microagregados não foram alterados em peso pode ser que, como afirmam Tisdall e Oaedes (1982), a principal implicação da ordem hierárquica dos agregados e dos agentes cimentantes é que o manejo agrícola afeta na maioria das vezes mais os macroagregados menos estáveis, enquanto que os microagregados são menos influenciados por um regime de manejo.

Ainda assim, considerando os resultados das análises de regressão realizada, os microagregados grandes ($R^2 = 0.70$) e pequenos ($R^2 = 0.67$) respondem positivamente para a aplicação de bentonita de acordo com o modelo quadrático. Isso significa que mesmo sem alteração das médias dos pesos dessas classes de agregados com a aplicação da bentonita é possível ter um aumento nessa variável com um aumento das doses, indicando algum tipo de efeito dessa classe de agregados a partir da aplicação do produto. Já para os macroagregados pequenos ($R^2 = 0.63$) há um aumento do seu tamanho mais pronunciado em doses intermediárias. Por outro lado, os macroagregados grandes demonstraram responder negativamente com a aplicação do argilomineral ($R^2 = 0.69$).

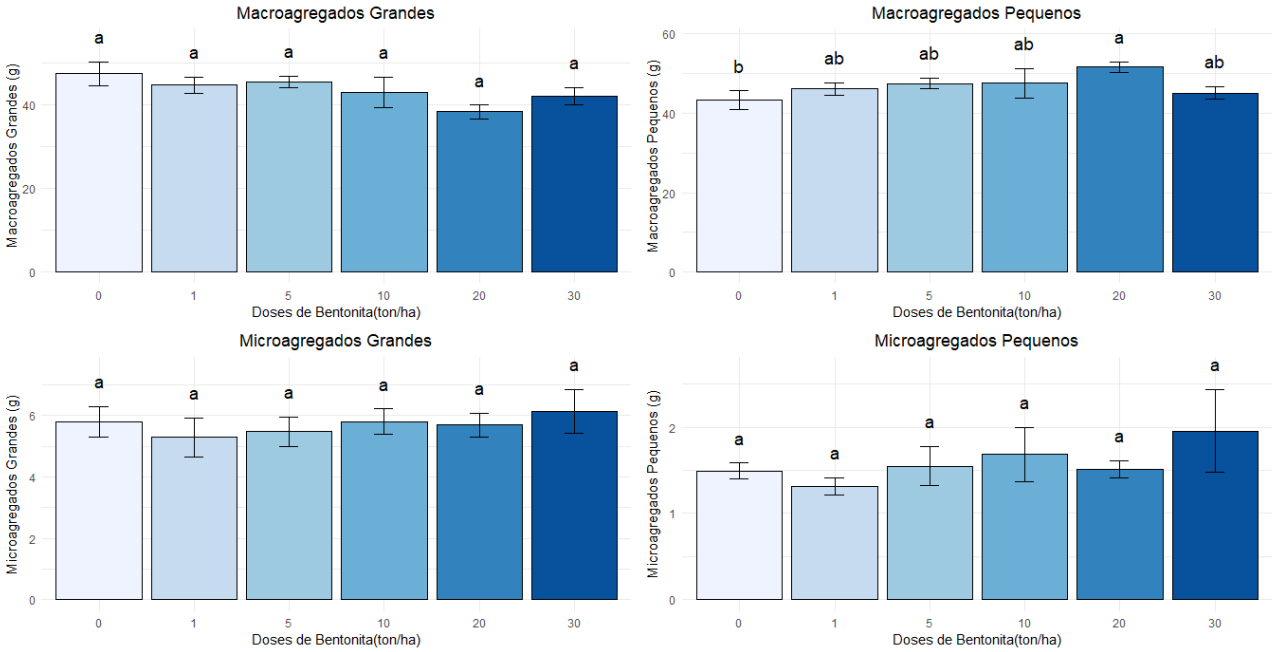


Figura 1. Peso dos agregados e o seu correspondente tamanho em cada dose de bentonita. Os gráficos contêm suas respectivas médias que são identificadas por letras. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

A análise realizada para o DMP não resultou em diferença estatística ao nível de 5% para os tratamentos, e sim apenas para os blocos. Os resultados mostraram que de todos os 4 blocos da área do experimento, o bloco 4 foi diferente estatisticamente do bloco 2, com uma diferença de 25% no DMP dos agregados. Isso mostra que é algum outro fator presente no bloco 4 que está alterando esse índice e não exclusivamente a aplicação da bentonita.

Contudo, existem outros processos que estão relacionados com a estabilidade e a formação dos agregados. Então outros fatores como os químicos e mineralógicos ainda serão estudados para complementar esses resultados parciais que foram encontrados.

CONCLUSÕES

A bentonita não age de maneira isolada na formação e na estabilidade dos agregados de um solo franco arenoso.

As doses de bentonita tem efeito negativo para macroagregados grandes e positivos para macroagregados pequenos e para os microagregados.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão das bolsas de estudo, à empresa T-MINAS Bentonitas Industriais e a Fazenda Amizade (MG) pela condução do ensaio e apoio na coleta de solos. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento das análises.

BIBLIOGRAFIA

AULER, A. C; BATISTA, V. M.; ROCHA, C. S.; PAULETTI, V.; KOCHEPKA, D. M.; SILVA, H. C.; GAVELAKI, F. O uso de bentonita incorporada aos fertilizantes reduz a lixiviação de potássio em solos arenosos. *In:* XXIII

CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO (CLACS) e do XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO (CBCS), 2023, Florianópolis. **Anais do XXIII Congresso Latino-americano de Ciência do Solo (CLACS) e do XXXVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (CBCS)**, 2023. v. 1. p. 1316.

AKSAKAL, Ekrem Lutfi; ANGIN, Ilker; SARI, Serdar. A new approach for calculating aggregate stability: Mean weight aggregate stability (MWAS). **Catena**, v. 194, p. 104708, 2020.

CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, Osmar; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

EL-NAGAR, D. A.; SARY, D. H. Synthesis and characterization of nano bentonite and its effect on some properties of sandy soils. Soil and Tillage Research, v. 208, p. 104872, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo.** 4. ed. Rio de Janeiro,1997.212 p.

MAZERO, H. M.; AULER, A. C.; AGUIAR, L. K.; FARINA, P. R. V.; ROANI, R.; ROCHA, C. S. Bentonita como potencial condicionador de substratos no desenvolvimento radicular de mudas de alface. *In:* XXIII CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO (CLACS) e do XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO (CBCS), 2023, Florianópolis. **Anais do XXIII Congresso Latino-americano de Ciência do Solo (CLACS) e do XXXVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (CBCS)**, 2023. v. 1. p. 969.

MI, J.; GREGORICH, E. G.; XU, S.; MCLAUGHLIN, N. B.; MA, B.; LIU, J. Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region. **Field Crops Research**, v. 212, p. 107-114, 2017.

SUN, Z.; LIU, Z.; HAN, J.; WANG, H.; ZHANG, H.; YAN, J. Long-term effects of soft rock amendment on changes of soil aggregate cementing agents of sandy soil by SEM-EDS. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, p. 1207781, 2023.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo** (3ª edição revista e ampliada). Brasília: 2017.

TISDALL, Judith M.; OADES, Jennifer Malcolm. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TRIPATHI, Shubha; TIWARI, Tapasya; SACHAN, Ravindra. **Soil Conditioners: Substances That Enhance the Physical Properties of Soil.** 2023.

WANG, Jinyue *et al*. Soil aggregate stability and its response to overland flow in successive Eucalyptus plantations in subtropical China. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 151000, 2022.

ZHAO, Jinsong *et al*. Aggregate stability and size distribution of red soils under different land uses integrally regulated by soil organic matter, and iron and aluminum oxides. **Soil and Tillage Research**, v. 167, p. 73-79, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ESTABILIDADE DE AGREGADOS PELO MÉTODO DO IMPACTO DE GOTAS E ATRIBUTOS DE SOLO EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS SOB PLANTIO DIRETO NO PARANÁ

Angelica Lorini[1*], Graziela Moraes de Cesare Barbosa[2], Neyde Fabíola Balarezo Giarola[3], André Pellegrini[4], Cristiano Andre Pott[5]

[1] Mestranda do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [2] Pesquisadora do IDR, [3] Professora do PPG-Agronomia da UEPG, [4] Professor do PPG-Agroecossistemas da UTDPR, [5] Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO. * Email: angelicalorini25@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar, pelo método do impacto da gota, a estabilidade de agregados em sistemas conservacionistas de manejo do solo em diferentes regiões do estado do Paraná, verificar se apresenta relação com outros métodos de avaliação da agregação e identificar os atributos do solo que mais se correlacionam com esse método. Amostras de solo foram coletadas em áreas cultivadas no sistema plantio direto associados ou não a terraços agrícolas e em mata nativa, nos municípios de Guarapuava, Dois Vizinhos, Cambé e Ponta Grossa. A estabilidade de agregados foi determinada por diferentes métodos: (i) impacto de gota, (ii) diâmetro médio ponderado (DMP) e (iii) diâmetro médio geométrico (DMG) por peneiramento via úmida. A granulometria, grau de floculação (GF), grau de dispersão da argila (GF) e o fracionamento físico da matéria orgânica também foram determinados. O GF e o GD não apresentaram correlação com o método do impacto de gota. No entanto, houve forte relação do carbono orgânico total com o DMP, o DMG e a estabilidade de agregados pelo método do impacto de gotas.

PALAVRAS-CHAVE: carbono orgânico; sistema plantio direto; qualidade física do solo.

INTRODUÇÃO

O uso adequado do solo impacta diretamente na produção de alimentos e na qualidade ambiental. O intenso manejo dos solos ao longo do tempo, aliado aos efeitos das mudanças climáticas, podem afetar negativamente a qualidade da estrutura do solo, causando degradação química, física e biológica do solo (Jam *et al.*, 2021).

Para minimizar perdas e garantir a qualidade estrutural do solo, o uso de práticas mecânicas de conservação do solo são necessárias, mesmo em áreas sob sistema plantio direto (SPD). O terraceamento agrícola é uma das principais práticas conservacionistas adotadas nas terras cultivadas pois, além de diminuir o comprimento de rampa, serve de barreira física para evitar o escoamento superficial, aumentar a taxa de infiltração de água no solo e diminuir o processo erosivo. A presença de terraços nas lavouras, além de diminuir o escoamento superficial, pode melhor a estrutura do solo. Estudos realizados por Wang *et al. (*2024) e Chen *et al. (*2024) demonstraram, respectivamente, aumento da estabilidade de agregados e da retenção de água, nutrientes e de carbono orgânico do solo.

A estabilidade dos agregados é caracterizada como a capacidade do solo de resistir a forças externas desagregadoras e pode ser influenciada por processos físico-químicos do solo, tais como a infiltração e a retenção de agua no solo, a aeração do solo e a disponibilidade de nutrientes (Zhang *et al.*, 2024). O efeito da instalação ou remoção de terraços em áreas sob SPD pode afetar as propriedades físicas do solo, especialmente aquelas ligadas à agregação do solo.

Dentre as metodologias utilizada para avaliar a estabilidade dos agregados do solo destacam-se a agitação por via úmida, para determinação do diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados (Teixeira *et al.*, 2017); e parâmetros obtidos a partir dos resultados de argila dispersa em água (ADA) e da granulometria que também podem ser usadas como indicadores de qualidade do solo.

O método do impacto de gota tem sido utilizado para avaliar a agregação do solo (Moro *et al*. 2010), pois esse atributo é necessário para alimentar modelos hidrológicos como o LISEM (Barros *et al*., 2021). Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar, pelo método do impacto da gota, a estabilidade de agregados em sistemas conservacionistas de manejo do solo em diferentes regiões do estado do Paraná, bem como verificar relações com outros métodos de avaliação da agregação e com atributos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo utilizou amostras de solo de macroparcelas experimentais do projeto NAPI-PROSOLO - Manejo e conservação do solo e da água no estado do Paraná, situadas nos municípios de Guarapuava, Dois Vizinhos, Cambé e Ponta Grossa. A amostras foram extraídas de três diferentes sistemas de uso e manejo do solo: SPD sem terraços agrícolas (ST), SPD com terraços em nível (CT) e uma área de referência com vegetação nativa (APP). Blocos de solo (0,10 x 0,10 x 0,10 m) foram retirados da camada superficial (0-0,10 m) nos terços superior, médio e inferior de cada macroparcela. Depois de secas, as amostras foram tamisadas em peneiras com malha de 4,75-4 mm de diâmetro e selecionados 100 agregados por ponto amostral. O conjunto de agregados foi subdividido em grupos destinados as diferentes analises de agregação.

A agregação do solo foi avaliada por diferentes métodos. Inicialmente, determinou-se a estabilidade de agregados pelo método do impacto de gotas, com um gotejador de carga constante baseado no princípio de Mariotte. O critério de desagregação foi a passagem total do agregado por uma peneira de 2,8 mm, que representa 50% de desagregação do agregado de classe 4,75-4,00mm. Por peneiramento úmido dos agregados de diferentes classes de tamanho, foram determinadas a distribuição de classes de agregados, o DMP e o DMG (Teixeira *et al.,*2017).

Os parâmetros ADA, GD e o GF foram obtidos a partir da análise granulométrica, realizada pelo método da pipeta, sem o dispersante químico (Teixeira *et al.*, 2017).

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizado segundo o método de Cambardella *et al.* (1992), e para medição do carbono orgânico foi utilizado a metodologia de Walkley e Black (1934), determinando-se o carbono orgânico associada as frações silte e argila (COAM), o carbono orgânico total (COT).

Para verificar a relação da estabilidade dos agregados via método do impacto de gotas com outros métodos e atributos do solo, os dados foram submetidos à análise de correlação de Pearson e de componentes principais (ACP) utilizando o software R Studio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de componentes principais (Figura 1) revelou que o primeiro componente (ACP1) explicou 47% da variância total dos dados, indicando que este componente captura uma porção significativa da variabilidade. As variáveis DMP, DMG, número de gotas e COT influenciaram a definição deste componente, principalmente nas amostras de Guarapuava, dado seu posicionamento distante da origem. Observa-se também que as amostras de Ponta Grossa foram mais afetadas pela areia independentemente do manejo CT ou ST. Os solos muito argilosos de Cambé e Dois Vizinhos foram enquadras na ACP com os atributos afetadas pela argila, silte e COP.

A correlação de Pearson (Figura 2) evidencia que DMP e DMG apresentam correlação significativa e positiva com o método do impacto de gotas de gotas (r = 0,72 e 0,74). Silte e argila apresentam correlação significativa e positiva com a ADA. GF e GD não apresentou relação com método do impacto de gotas. Observa-se também correlação forte positiva entre o teor de COP com o silte. O COT apresenta correlação forte positiva com o número de gotas. Já correlações negativas significativas foi observada na argila, silte e ADA com o teor de areia dos municípios.

As características e propriedades físicas do solo, como textura, estrutura, estão intrinsecamente interligadas e exercem influência direta sobre a capacidade do solo de reter água, permitir a circulação de ar e sustentar o crescimento das plantas (Niu *et al.*, 2023). O manejo do solo, por meio de práticas agrícolas pode alterar significativamente essas propriedades (Farooq *et al.*, 2024). Portanto, o manejo adequado é essencial para preservar ou melhorar as propriedades físicas do solo, garantindo sua sustentabilidade e produtividade a longo prazo.

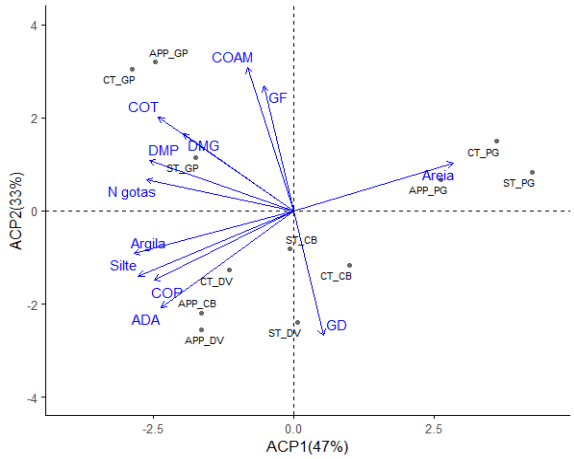


Figura 1. Analise de componentes principais para os solos dos diferentes Municípios. CT: plantio SPD com terraços; ST: plantio SPD sem terraços; APP: área de preservação permanente; CB: Município de Cambé; DV: Dois Vizinhos; GP: Guarapuava; PG: Ponta Grossa; COP: Carbono orgânico particulado; ADA: Argila dispersa em água; N gotas: número de gotas; DMG: Diâmetro médio geométrico; DMP: Diâmetro médio ponderado; GF: Grau de floculação da argila; COAM: Carbono orgânico associada as frações silte e argila; COT: carbono orgânico total; GD: Grau de dispersão da argila.

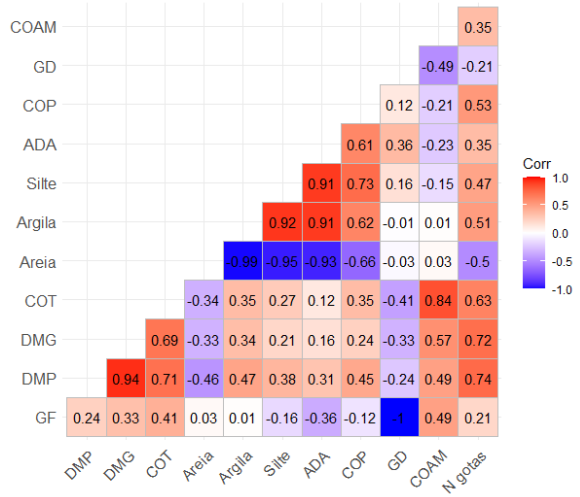


Figura 2. Correlação de Pearson (r) entre os atributos de solo dos munícipios de Cambé, Guarapuava, Ponta Grossa e Dois Vizinhos nas áreas com (CT), sem terraço (ST) e de preservação permanente (APP). COP: Carbono orgânico particulado; ADA: Argila dispersa em água; N gotas: número de gotas; DMG: Diâmetro médio geométrico; DMP: Diâmetro médio ponderado; GF: Grau de floculação da argila; COAM: Carbono orgânico associada as frações silte e argila; COT: carbono orgânico total; GD: Grau de dispersão da argila. r > 0,55 é significativo a 5% de erro, r > 0,68 é significativo a 1% de erro.

CONCLUSÕES

O método de análise de agregação pelo impacto de gota teve correção positiva com DMP e DMG da metodologia da agregação via úmida. A ADA, GF e GD não tiveram correlação com o método do impacto de gota.

A agregação pelo método do impacto de gota não distingui diferença entre os tratamentos com e sem terraço. No entanto, o método verificou diferença nas distintas regiões, tendo o carbono orgânico total maior correlação com a agregação via impacto de gotas.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo do Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da Unicentro pela ajuda na condução da pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3 e a CAPES pela conceção de bolsa de mestrado da primeira autora (Código de financiamento 001).

BIBLIOGRAFIA

BARROS, C. A. P.; MINELLA, J. P. G.; SCHLESNER, A. A.; RAMON, R.; COPETTI, A. C. (2021). Impact of data sources to DEM construction and application to runoff and sediment yield modelling using LISEM model. **Journal of Earth System Science**, v. 130, n.53, p1-17.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777–783, 1992.

CHEN, D.; WEI, W.; CHEN, L.; MA, B.; LI, H. Response of soil nutrients to terracing and environmental factors in the Loess Plateau of China. **Geography and Sustainability**, v. 5, n. 2, p. 230–240, 2024.

FAROOQ, M.; NAWAZ, A.; REHMAN, A.; ULLAH, A; WAKEEL, A. Conservation agriculture effects on ecosystem health and sustainability – A review of rice–wheat cropping system. **Science of The Total Environment**, v. 957, p. 177535, 2024.

MORO, M.; MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G; PEREIRA, C. A. Avaliação da estabilidade de agregados através da utilização do impacto de gota. **In.** XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, p. 4, 2010.

NIU, B. *et al*. Networks of mineral-associated organic matter fractions in forest ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 898, p. 165555, 2023.

JAM, A. S.; MOSAFFAIE, J.; TABATABAEI, M. R. Assessment of comprehensiveness of soil conservation measures using the DPSIR framework. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 1, p. 42, 2021.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29, 1934.

WANG, G. *et al*. Effects of Terracing on Soil Aggregate Stability and Erodibility in Sloped Farmland in Black Soil (Mollisols) Region of China. **Agriculture**, v. 14, n. 9, p. 1534, 2024.

ZHANG, S. *et al*. Influence of organic matter input and temperature change on soil aggregate-associated respiration and microbial carbon use efficiency in alpine agricultural soils. **Soil Ecology Letters**, v. 6, n. 3, p. 230220, 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ESTABILIDADE DE AGREGADOS POR IMPACTO DE GOTA E AGITAÇÃO VIA ÚMIDA NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ

Paulo Wesley Czanoski[1*], Angelica Lorini[2], Miguel David Fuentes-Guevara[3], Cristiano Andre Pott[4]
[1] Estudante de graduação da UNICENTRO, [2] Mestranda do PPG-Agronomia da UNICENTRO, [3] Pesquisador Pós-Doc, [4] Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO. * E-mail: czanoskipw@gmail.com

RESUMO

O estudo investiga a estabilidade de agregados do solo em sistemas de manejo na região Centro-Sul do Paraná, comparando os métodos de impacto de gotas e agitação via úmida. O objetivo foi avaliar a resistência dos agregados por diferentes métodos. Foram coletadas amostras de solo da camada de 0-10 cm em três áreas: cultivo em sistema plantio direto (SPD) morro abaixo (ST), cultivo em SPD com terraços (CT) e área de preservação permanente (APP). Foi avaliado a estabilidade dos agregados pelo método do impacto de gotas, e determinou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) por peneiramento via úmida. O DMP foi superior ao DMG em todos os sistemas, sem diferenças estatísticas. A construção dos terraços pode ter influenciado a estabilidade. Conclui-se que o impacto de gotas é mais sensível para avaliar a resistência dos agregados, sendo indicado para estudos sobre erosão e conservação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: agregação; sistema plantio direto; terraceamento; erosão.

INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo-chave de degradação que afeta negativamente diversos serviços ecossistêmicos, incluindo a biodiversidade, a produtividade agrícola e as reservas de carbono (Panagos *et al*., 2015). Dentre os principais impactos, destaca-se a remoção de nutrientes essenciais para a fertilidade do solo. Globalmente, a erosão hídrica transporta entre 23 e 42 milhões de toneladas (Mt) de nitrogênio (N) e entre 15 e 26 Mt de fósforo (P), prejudicando diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas e, consequentemente, a produtividade agrícola das culturas (Pennock e McKenzie, 2016).

A chuva desempenha um papel importante nesse processo, pois a energia cinética das gotas desagrega as partículas do solo, iniciando a erosão hídrica. Esse efeito é agravado em solos sem cobertura vegetal e mal manejados, onde chuvas intensas aumentam significativamente as perdas de solo e água (Lima, 2008). Para mitigar esses impactos e garantir tanto a produtividade agrícola quanto a qualidade ambiental, é fundamental adotar práticas de conservação do solo.

Dentre as estratégias de conservação do solo, destaca-se o sistema plantio direto (SPD), que consiste no não revolvimento do solo, cobertura permanente de palha e rotação de culturas (Possamai *et al*., 2022). Além disso, o terraceamento se destaca como uma prática mecânica eficiente de controle de erosão hídrica, pois reduz o comprimento do declive, favorecendo a infiltração da água e controlando a velocidade do escoamento superficial (FAO, 2000; Zhang *et al*., 2008), minimizando a erosão pois tem-se mais tempo para a água infiltrar e direcioná-la de forma controlada para evitar o transporte excessivo de sedimentos e nutrientes (Al Ali *et al*., 2008).

Além das práticas de manejo, a resistência do solo à desagregação é um fator determinante para sua estabilidade e qualidade estrutural. Solos com maior resistência tendem a apresentar menor suscetibilidade à erosão, garantindo maior proteção contra processos degradativos. Para avaliar essa resistência, diferentes metodologias podem ser empregadas, sendo a estabilidade de agregados via úmida uma das principais técnicas para mensurar a capacidade dos agregados de permanecerem intactos em contato com a água (Teixeira *et al*., 2017). Dessa forma, a estabilidade estrutural do solo, aliada a práticas conservacionistas como

o terraceamento, desempenha um papel crucial na redução da erosão e na manutenção da fertilidade do solo.

O objetivo do estudo foi avaliar os métodos de estabilidade de agregados, comparando o impacto de gotas com o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) obtidos do peneiramento via úmida em diferentes sistemas de manejo na região Centro Sul do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nas macroparcelas do projeto NAPI-PROSOLO – Manejo e Conservação do solo e da água do Paraná, localizado no Distrito de Entre Rios em Guarapuava – PR, nas coordenadas geográficas S 25°31'57.1" de latitude, W 51°31'53.1" de longitude, a aproximadamente 1070m de altitude. O solo da região é classificado como Latossolo Bruno muito argiloso (Bhering e Santos, 2008). Os tratamentos consistiram de duas macroparcelas de 1,10 ha cada: ST: cultivado em SPD sentido morro-abaixo; CT: cultivado em SPD com sistema de terraços em nível. Ainda, uma testemunha com área de preservação permanente (APP), com espécies nativas da região foi utilizada para comparação dos atributos.

A amostragem para avaliação da qualidade física do solo foi realizada após a colheita de cevada em novembro de 2023. Ao todo, foram coletadas 9 amostras de solo na camada de 0-10 cm, sendo 3 amostras de cada manejo, ST, CT e APP, respectivamente, cada uma coletada no terço superior, médio e inferior da encosta.

A metodologia para medir a resistência dos agregados ao impacto de gotas de chuva foi simulado baseando-se na metodologia de Lorini (2023). Utilizou-se 100 agregados de cada amostra com tamanho entre 4,75-4 mm, os quais foram submetidos ao impacto sucessivo de gotas até o agregado passar totalmente pela peneira de malha de 2,8 mm. O número de gotas foi medido pela frequência de impacto de gotas registrada com cronômetro. Foram determinados o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) das amostras via metodologia de estabilidade de agregados via úmida descrita por Teixeira *et al*. (2017).

A tabulação dos dados foi realizada em planilha eletrônica no Excel e as médias foram comparadas por meio do intervalo de confiança (IC). Quando não houve sobreposição entre os limites superior e inferior dos intervalos de confiança das médias ($p<0,05$) considerou-se que houve diferença significativa conforme descrito por Payton *et al*. (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do número médio de gotas para desagregar os agregados na técnica de impacto de gotas e o DMP e DMG podem ser observados na Figura 1.

O DMP foi maior que o DMG em todos os manejos (Figura 1), indicando uma maior proporção de agregados maiores do que menores, porém, tanto em DMG quanto em DMP não houve diferença significativa entre os manejos, considerando os intervalos de confiança da média ($p<0,05$).

Altos valores de DMP indicam que a estabilidade de agregados é boa, indicando um solo estruturado e resistente à erosão, típico de latossolos brunos muito argilosos.

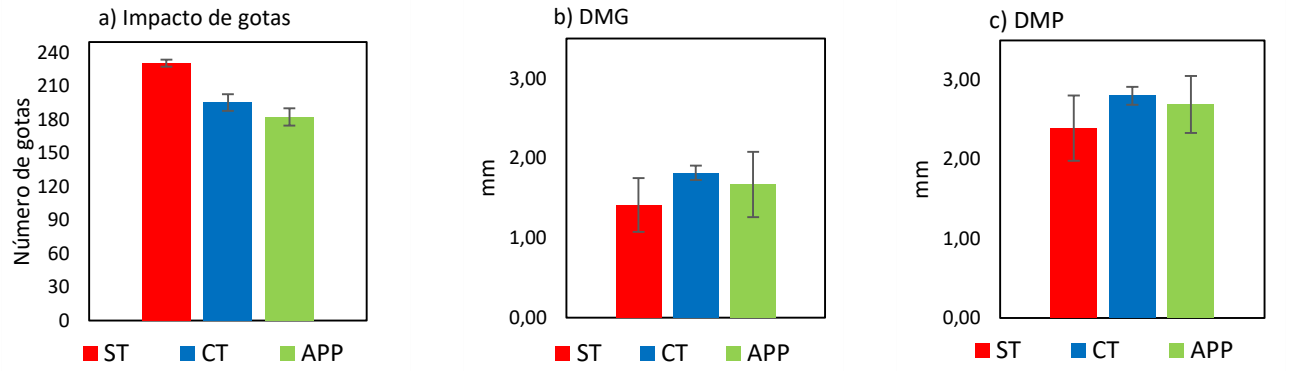


Figura 1. Número médio de gotas necessário para desagregar os agregados (a), diâmetro médio geométrico (b) e diâmetro médio ponderado (c) de agregados das amostras coletadas em diferentes manejos de solo no Distrito de Entre Rios, Guarapuava, PR. ST: Sem terraço, CT: com terraço, APP: área de preservação permanente. Fonte: os Autores.

O impacto das gotas não apresentou diferença estatisticamente entre ST e APP. No entanto, a macroparcela ST apresentou maior resistência dos agregados pois necessitou maior número de gotas para desagregá-los. A maior resistência do sistema ST pode ser atribuído a longa duração do SPD nessa área, iniciada na década de 1990. No sistema CT, houve mobilização do solo para construção dos terraços de base larga, o que pode ter afetado negativamente na resistência dos agregados. O menor número de gotas necessárias para desagregar os agregados da APP deve-se a alta porosidade dessa área, a qual não tem tráfego de máquinas, comprovando que cultivos do solo acarretam na redução dos índices de agregação Carpenedo & Mielniczuk (1990). Apesar da APP apresentar menor número de gotas para destruir os agregados, ressalta-se que, enquanto a vegetação ripária da APP for mantida, não haverá impacto de gotas nessa área e, portanto, não deve acontecer erosão.

CONCLUSÕES

A DMG e DMP não foram sensíveis para verificar diferenças entre os sistemas de manejo. O sistema plantio direto sem terraços apresentou melhor estabilidade dos agregados pelo método do impacto de gotas. O método de impacto de gotas demonstrou maior capacidade de distinguir diferenças entre sistemas de manejo do método de peneiramento via úmida.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo do Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da Unicentro pela ajuda na condução da pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3 e a CAPES pela concessão de bolsa de mestrado da segunda autora (Código de financiamento 001).

BIBLIOGRAFIA

AL ALI, Y.; TOUMA, J.; ZANTE, P.; NASRI, S.; ALBERGEL, J. Water and sediment balances of a contour bench terracing system in a semi-arid cultivated zone (El Gouazine, central Tunisia). **Hydrological Sciences**, v. 53, n. 4, p. 883-892, 2008.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada Rio de Janeiro EMBRAPA, 2008.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.

FAO-Food and Agriculture Organization. **Manual on integrated soil management and conservation practices** Rome: FAO, 2000.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2008. 2 ed. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Departamento de Ciências Florestais Piracicaba – São Paulo.

LORINI, A. **Estabilidade de agregados pelo método do impacto de gotas em sistemas conservacionistas sob plantio direto no Paraná**. 2023. Disponível em: https://creaweb3.crea-pr.org.br/WebCrea/biblioteca_virtual/visualizar_trabalho.aspx?SEQTRABALHO=1721. Acesso em: 16 fev. 2025.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; POESEN, J.; BALLABIO, C.; LUGATO, E.; MEUSBURGER, K.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. **Environmental Science and Policy**, v. 54, p. 438-447, 2015.

PAYTON, M.E.; MILLER, A.E.; RAUN, W.R. Testing statistical hypothesis using standard error bars and confidence intervals. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 31, n. 5-6, p. 547-551, 2000.

PENNOCK, D.; MCKENZIE, N. **Estado Mundial do Recurso Suelo: Resumen Técnico**. Roma: FAO; GTIS, 2016.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0210104, 2022.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, Embrapa. 2017. 573p.

ZHANG, J. H.; SU, Z. A.; LIU, G. C. Effects of terracing and agroforestry on soil and water loss in hilly areas of the Sichuan basin, China. **Journal of Mountain Science**, v. 5, n. 3, p. 241-248, 2008.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ESTRUTURA DO SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO

Douglas Favero[1*], Bruna Thalia Silveira Sabino [2], Graziela Capelettii[1] Murilo Henrique Gregório[1], André Pellegrini[3]

[1]Estudante do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos *douglasfavero26@gmail.com; [2]Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos; [3]Professor do COENF, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a densidade do solo e porosidade total em área de lavoura sob plantio direto com e sem terraço. O estudo foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná(UTFPR-DV), no município de Dois Vizinhos, em 2 áreas de lavoura de 1,923ha cada, sob sistema de plantio direto, uma com terraço e outra sem. Com as amostras coletadas em anéis volumétricos a cada 0,1m no centro das camadas até a profundidade de 0,4m, obteve-se a densidade do solo a partir da secagem em estufa a 105°C até atingirem peso constante e a porosidade total, pela medição do volume de água para saturar uma amostra de solo com volume conhecido. A densidade esteve abaixo do limite crítico de 1,30Mg m^{-3}, para solos argilosos, bem como a porosidade esteve próximo a 60%. Os terraços não afetaram as propriedades físicas do solo, reafirmando a importância da sua implementação nas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: atributos físicos; conservação do solo; Nitossolo Vermelho.

INTRODUÇÃO

A base para o crescimento das culturas é solo e, por isso há uma grande importância em utilizar deste meio de maneira racional, com a finalidade em proporcionar desenvolvimento sustentável e maximizar a produção (Gouel e Guimbard, 2017). Bunemann *et al*. (2018) mencionam que a qualidade do solo é definida e mensurada pela capacidade do mesmo em funcionar dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra, assegurando fatores físicos, químicos e biológicos.

Nesse sentido, a utilização desse conhecimento é de suma importância, uma vez que é através dos indicadores do solo que se explica a funcionalidade do mesmo (Cavalcante *et al*., 2020). Dentre os vários parâmetros que podem ser avaliados no solo, a densidade e porosidade total do solo merecem destaque.

Isto porque porosidade do solo é essencial para o armazena de água, garantindo a sobrevivência dos organismos que vivem nele. Para as plantas, a presença de água nos poros do solo é fundamental, mas elas também precisam de oxigênio e, por isso, é crucial que a porosidade esteja equilibrada para um bom desenvolvimento vegetal (Reynolds, 2023).

Já a densidade do solo, segundo Brady (2016), é um fator essencial na agricultura e no meio ambiente, pois influencia diretamente a infiltração de água, aeração, crescimento das raízes e atividade microbiana. Ela é definida como a massa do solo seco dividida pelo seu volume total, incluindo os poros.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a densidade e porosidade total do solo em área de lavoura sob plantio direto com e sem terraço.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em outubro de 2024 na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV), localizada no município de Dois Vizinhos, sudoeste do estado. Foram analisadas duas áreas de lavoura de 1,923 ha cada, ambas sob sistema de plantio direto, sendo uma com terraço e outra sem.

A região do experimento está no Terceiro Planalto, sobre rochas basálticas da Formação Serra Geral (Manasses *et al*., 2011), com coordenadas 25°42’ S de latitude e 53°06’ O de longitude, a uma altitude de 509

metros. O clima local é classificado como Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida, segundo Köppen (Alvares *et al*., 2014). A temperatura média supera 22°C nos meses mais quentes e fica abaixo de 18°C nos mais frios. A precipitação média anual é de 2010,60 mm (Vieira *et al*., 2018), com outubro registrando o maior volume (243 mm) e agosto o menor (113 mm). O solo da área é um Nitossolo Vermelho, conforme a classificação brasileira de solos (Santos *et al*., 2018).

Para avaliar os atributos físicos do solo, foi estabelecida uma malha amostral com 64 pontos distribuídos entre as duas parcelas. Os pontos foram espaçados em 24 metros, formando 8 linhas com 4 pontos de amostragem em cada parcela, totalizando 32 pontos por área. As camadas amostradas foram as seguintes: 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m. Todas as coletas seguiram essa organização amostral. A densidade do solo representa a relação entre a massa de uma amostra de solo e o volume que ela ocupa. Para determinar esse parâmetro, foram coletadas amostras não deformadas em cilindros, que foram secas em estufa a 105°C até atingirem peso constante. Em seguida, a densidade foi calculada utilizando a equação proposta por Teixeira *et al*. (2017).

A porosidade total do solo representa a fração do volume do solo que pode ser ocupada por água ou ar (Teixeira *et al*., 2017). O método utilizado baseia-se na medição direta do volume de água necessário para saturar uma amostra de solo com volume conhecido, considerando que a densidade da água é de 1 Mg m^{-3}. O procedimento seguiu a metodologia descrita por Teixeira *et al*. (2017).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 estão apresentados os dados de Porosidade total e (Pt) e Densidade do solo (Ds), estes não apresentaram diferenças estatísticas significativas e ambas tiveram baixa variabilidade (CV < 12%) em todas as camadas avaliadas, certamente, porque estes atributos sensíveis do solo sofrem alterações lentamente, como Faustino e Marciano (2021) mencionam, que a partir dos 20 anos é mais fácil visualizar mudanças no comportamento da densidade e porosidade do solo.

Vale ressaltar que, cada tipo de solo possui uma Ds crítica, podendo dificultar ou impedir o crescimento das raízes. Reichert, Reinert e Braida (2003) observaram Ds crítica para algumas classes texturais que variaram de 1,30 a 1,40 Mg m^{-3} em solos argilosos. Backes (2023) estudando na mesma área deste estudo, mencionou que a classe textural da área foi classificada como muito argilosa e a faixa crítica das Ds encontradas estava em torno de 1,30 Mg m^{-3}, igualmente ao que foi encontrado neste trabalho, Ds de 1,21 Mg m^{-3} a 1,29 na área com terraço (CT) e de 1,21 Mg m^{-3} a 1,28 Mg m^{-3} na área sem terraço (ST). Isto mostra que a Ds certamente não está afetando negativamente a porosidade total do solo e, consequentemente, o sistema radicular e a dinâmica da água no solo.

É válido mencionar que a densidade do solo influencia bastante na porosidade total do solo, uma vez que, quanto mais compactado o solo está, a quantidade de poros do solo diminui e pode alterar o sistema radicular das plantas (Miranda, Cogo e Vilela, 2017), como já mencionado anteriormente.

Com relação a Pt, não houve também diferenças significativas dos seus valores nem para a área CT e nem para a ST. Porém, segundo Vieira (1975), solos com partículas mais finas, como é o caso deste estudo, tende a possuir densidade menor e, porosidade maior, podendo variar de 50% a 60%, indo de encontro com os resultados encontrados, cujo os valores para porosidade total estiveram em torno de 53,60% a 57,30% na CT e 51% a 56,60% da ST (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de densidade e porosidade total do solo em área com terraço e sem terraço.

Porosidade Total (%)				
Prof (m)	CT	ST	**média**	**CV %**
0,0 – 0,10	53,60^{ns}	54,40^{ns}	54,00	11,73
0,10 – 0,20	53,80^{ns}	51,00^{ns}	53,90	10,52
0,20 – 0,30	56,50^{ns}	56,70^{ns}	56,60	9,40
0,30 – 0,40	57,30^{ns}	56,60^{ns}	56,90	9,31
Densidade do Solo (Mg m^{-3})				
Prof (m)	CT	ST	**média**	**CV %**
0,0 – 0,10	1,29^{ns}	1,28^{ns}	1,28	5,57
0,10 – 0,20	1,25^{ns}	1,26^{ns}	1,25	7,07
0,20 – 0,30	1,22^{ns}	1,24^{ns}	1,22	7,57
0,30 – 0,40	1,21^{ns}	1,21^{ns}	1,21	6,51

^{ns} não significativo na linha; *CT- com terraço e ST – sem terraço

Silva *et al*., (2003) mencionam que em solos agricultáveis, a porosidade total pode diminuir ao longo do tempo, por isso a importância, por exemplo, do uso dos terraços para contenção do escoamento superficial. Isto porque pode influenciar diretamente na retenção e disponibilidade de água (Mesfin *et al*., 2018).

CONCLUSÕES

Tanto na área CT como na ST as maiores médias de Ds estiveram na camada mais superficial (0,00-0,10 m) e, consequentemente, os menores valores de porosidade também foram constatados na mesma camada.

O uso dos terraços não afetou nas propriedades físicas do solo, mantendo-os dentro do previsto para que não afetem substancialmente na dinâmica da água e nem no crescimento das plantas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio e pelas bolsas de pesquisa e pelos recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

BACKES, E. S. **Propriedades físico-hídricas do solo e produtividade de culturas em áreas com e sem terraço.** 2023. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos, 2023.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 15. ed. Pearson, 2016.

BUNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MADER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J. W. V.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical reviw. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CAVALCANTE, W. F.; SILVA, L. R. C.; SILVA, E. G.; OLIVEIRA, J. T. C.; MOREIRA, K. A. Enzymatic activity of Caatinga biome with and whitout anthropic action. **Rev. Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 142-150, 2020.

FAUSTINO, L. L.; MARCIANO, C. R. Intervalo hídrico ótimo e valores críticos de densidade como indicadores de recuperação de um solo sob sistemas florestais e pasto. **Ciência florestal**, [*S. l.*], p. 658-682, 2021.

GOUEL, C.; GUIMBARD, H. Nutrition transition and structure of global demand, Washington, DC: **International Food Policy Research Institute**, 2017.

MESFIN, S.; GEBEYEHU, T.; YOHANNES, D.; BIRIKTI, S.; DICAS, M.; MAOMÉ, M. Effects of bench terraces on selected soil physical and chemical properties: landscape improvement for hillside farming in semi-arid areas of northern Ethiopia. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 11, p. 1-14, 2018.

MIRANDA, M. T; COGO, F. D; VILELA, E. F. **Compactação do solo e dimensionamento de terraços em uma propriedade rural do sul de minas gerais.** 2017. Disponível em: https://revista.uemg.br/index.php/intercursosrevistacientifica/article/view/3668/2071. Acesso em: 24 fev, 2025.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REYNOLDS, J. **Porosidade do solo**: [*S. l.*], 26 jun. 2023. Disponível em: https://physigeek.com/pt/porosidade-do-solo/. Acesso em: 16 fev. 2025.

SILVA, R.B.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M.; FOLE, S. M. The traffic of the tillage tools on the physical, hydric and mechanical properties of a Latosol of the Cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:973-983, 2003.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MODELOS DIVERSIFICADOS DE PRODUÇÃO PARA AUMENTAR A AGREGAÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS DE BASE SOJA NO CERRADO BRASILEIRO

Marcelo Trybek[1*], Daniel Aquino de Borba[2], Carol Zanoli[3], Rodrigo Pengo[4], Carlos Eduardo Pellegrino Cerri[5]

[1] Mestrando, PPG em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP); * trybek@usp.br; [2]Doutorando, PPG em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP); [3]Graduanda, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP); [4]Engenheiro Agrônomo Me., Departamento de Fitotecnia, Nutrição de Plantas e Plantas Daninhas, Fundação Rio Verde; [5]Professor Adjunto, Departamento de Solos, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP).

RESUMO

O objetivo foi avaliar e identificar modelos de produção em sistemas de base soja no Cerrado brasileiro que melhoram a agregação do solo. A distribuição dos agregados foi avaliada pelo método de tamisação a úmido, em um experimento em Lucas do Rio Verde-MT. O solo foi amostrado até 30 cm de profundidade, em sete tratamentos com soja no verão e manejos diversificados na entressafra. Comparado a qualquer outro manejo, a braquiária solteira ou na entrelinha do milho aumentou os macroagregados grandes em pelo menos 19% (0-5 cm) e 34% (5-10 cm). Ainda, aumentos de 32% na formação de macroagregados grandes em 10-30 cm, foram registrados com uso de plantas de cobertura, independente da espécie. A adoção de plantas de cobertura, especialmente a braquiária, seja solteira ou na entrelinha do milho safrinha foram os modelos produtivos mais eficientes para aumentar a agregação do solo em sistemas de base soja no Cerrado.

PALAVRAS-CHAVE: tamanho de agregados; Braquiária; plantas de cobertura; saúde do solo.

INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro passou por uma significativa expansão agrícola nas últimas décadas, impulsionada principalmente pela produção de soja. Com isso, houve um aumento da importância global deste bioma para produção de alimentos, aumentando a preocupação sobre a sustentabilidade dos modelos produtivos e seus impactos na saúde do solo (Mattiello *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2025).

A distribuição de tamanho dos agregados é um indicador sensível das práticas de gestão do solo (Bagnall *et al.*, 2022; Wood e Bowman, 2021). Solos bem agregados conferem estabilidade estrutural e favorecem a estabilização de carbono (C), podendo em último impacto atuar na mitigação das mudanças climáticas (Li *et al.*, 2024; Six *et al.*, 2000). Adicionalmente, esses solos apresentam maior porosidade total, favorecendo várias funções hídricas e o suprimento de ar para as raízes (Bagnall *et al.*, 2022). Em contrapartida, uma pobre estrutura agregada deixa o solo mais vulnerável a compactação, erosão e a oxidação da matéria orgânica, comprometendo a fertilidade e capacidade produtiva (Hartmann e Six, 2023).

A soja é a principal cultura agrícola no Cerrado, sendo cultivada tradicionalmente na primeira safra em combinação a manejos alternativos durante a entressafra (CONAB, 2025)25). Modelos produtivos baseados na soja, incluem por exemplo o pousio, milho safrinha ou plantas de cobertura na entressafra da soja (Yokoyama *et al.*, 2022). Ainda, o cultivo de braquiária na entrelinha do milho tem sido adotado por combinar uma segunda cultura comercial com uma espécie de cobertura com elevada capacidade de produção de biomassa, como é a braquiária (Baptistella *et al.*, 2020). Fato é, o modelo de produção exerce um impacto na dinâmica de formação e manutenção dos agregados (Six, Elliott e Paustian, 2000; Tisdall e Oades, 1982).

Assim, a avaliação da distribuição dos agregados por classes de tamanho pode fornecer informações valiosas sobre a qualidade do manejo e um retrato das funcionalidades do solo. Especialmente no Cerrado, o conhecimento sobre o impacto de modelos produtivos sobre a agregação do solo é pouco explorado (Locatelli *et al.*, 2023). Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar e identificar modelos diversificados de produção em sistemas de base soja no Cerrado brasileiro que promovem melhoria na agregação do solo. A

hipótese foi que modelos diversificados de produção, utilizando plantas de cobertura na entressafra da soja aumentam a qualidade estrutural do solo produzindo agregados maiores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento de campo foi instalado em 2014 em Lucas do Rio Verde-MT (13° 00'16'' S e 55°58'07'' O, 390 m de altitude) sob um Latossolo Vermelho-Amarelo (Santos *et al.*, 2018) de textura argilo-arenosa (410 g kg^{-1} de argila). Utilizando um delineamento experimental de blocos completos ao acaso (n=3), sete tratamentos foram cultivados em sucessão ao longo de 10 anos (Tabela 1).

Tabela 1. Síntese dos tratamentos avaliados com soja fixa na primeira safra.

Tratamento	Manejo do solo	Primeira safra	Segunda safra
T1	Plantio convencional	Soja	Pousio (sem presença de plantas)
T2	Plantio Direto	Soja	Pousio (sem presença de plantas)
T3	Plantio Direto	Soja	Milho
T4	Plantio Direto	Soja	Crotalária
T5	Plantio Direto	Soja	Milheto
T6	Plantio Direto	Soja	Milho + Braquiária
T7	Plantio Direto	Soja	Braquiária

Amostras indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, e foram rompidas cuidadosamente nos pontos de fraqueza. O material foi peneirado a 8 mm, seco (50°C) e a distribuição granulométrica de agregados do solo foi avaliada por tamisação a úmido seguindo a metodologia descrita por Elliott, (1986). Resumidamente 50 g de solo seco (>8 mm) foi submetido ao umedecimento capilar por 16 horas e colocado sobre o topo de um conjunto de 3 peneiras aninhadas (malha 2; 0,25; e 0,053 mm). Durante 10 minutos, as amostras foram peneiradas em água utilizando um oscilador vertical a uma taxa de 30 oscilações por minuto. Após, o material retido em cada uma das peneiras foi seco (50°C) e pesado. Foram obtidas três classes de tamanho de agregados: macroagregados grandes (2-8 mm), macroagregados pequenos (0,25-2 mm) e microagregados (0,053-0,25 mm) (Tisdall e Oades, 1982).

A ANOVA foi aplicada para análise estatística e quando constatado efeito significativo dos tratamentos (p<0,05), as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os melhores modelos produtivos para aumentar a agregação nos 30 cm superficiais do solo foram observados nos tratamentos com uso plantas de cobertura, especialmente pela Braquiária (Figura 1). Em particular, a braquiária solteira (T7) ou na entrelinha do milho (T6) aumentou a produção de macroagregados grandes (p<0,05) em pelo menos 19% na camada 0-5 e 34% na camada 5-10 cm, quando comparado a qualquer outro manejo. Nestes tratamentos, os agregados grandes representaram respectivamente, 53 e 42% da massa total de solo nas camadas 0-5 e 5-10 cm. Em comparação, nos modelos produtivos sem uso da braquiária os macroagregados grandes foram 26-44% da massa de solo na camada superficial e 23-32% em 5-10 cm. Na mesma direção, o uso de plantas de cobertura aumentou em ~32% a produção de macroagregados grandes abaixo dos 10 cm iniciais do solo (Figura 1), no entanto, sem uma distinção significativa entre a espécies. Contudo, a braquiária não se diferenciou do milheto (T5) ou da crotalária (T4), nestas camadas. Em partes, isso pode ser atribuído a redução do impacto do manejo sobre agregação em profundidade (Bissonnais, Le *et al.*, 2018).O

O efeito de plantas de cobertura sobre a agregação do solo é amplamente documentado (Blanco-Canqui e Ruis, 2020; Wood e Bowman, 2021). Em meta-analise recente Li *et al*. (2024) identificaram que modelos diversificados de produção com uso de plantas de cobertura promovem agregação do solo e

acúmulo de C em agroecossistemas por todo o globo. Isso é resultado da produção de biomassa com impacto sobre o estoque de C (Husain e Dijkstra, 2023), da ação mecânica de raízes (Mueller *et al.*, 2024) e ainda pela liberação de substâncias com ação cimentante (Anghinoni *et al.*, 2021). Especialmente em relação a Braquiária, todos estes mecanismos estão presentes, seja pela abundante produção de biomassa e pelo sistema radicular agressivo (Baptistella *et al.*, 2020)que pode favorecer o acúmulo de C, bem como por associações micorrizas que produzem glomalina, uma proteína com ação cimentante (Agnihotri *et al.*, 2022).

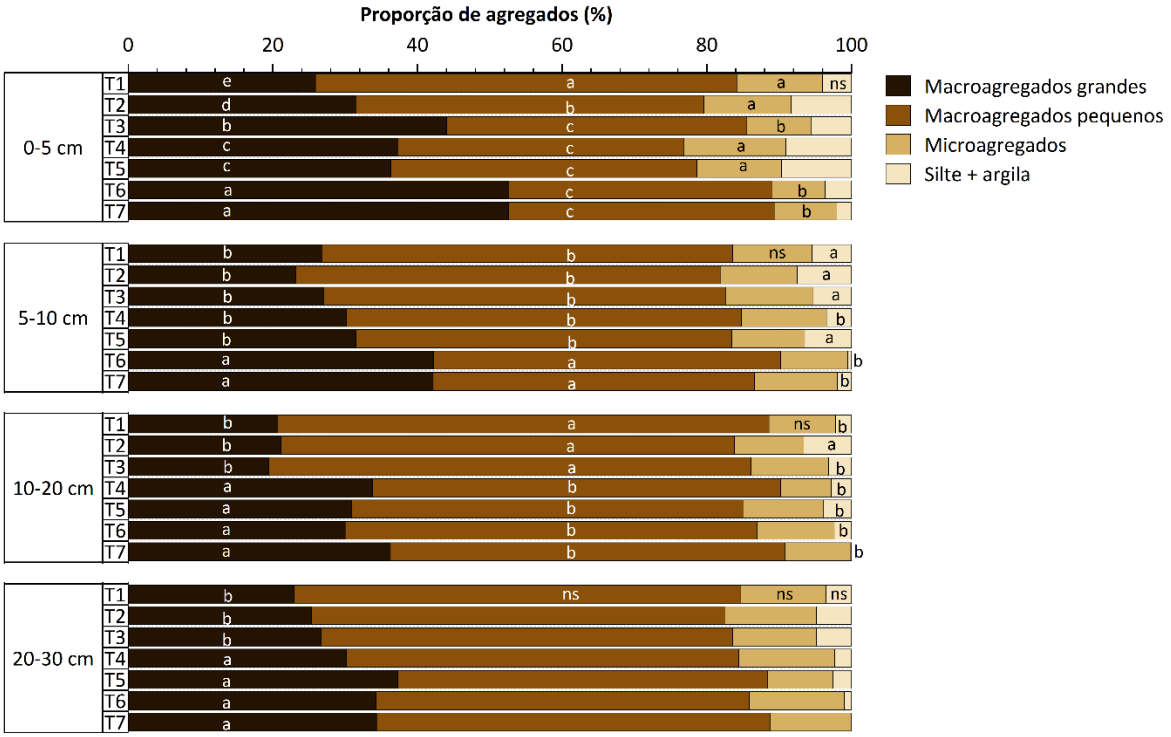


Figura 1. Distribuição dos agregados em classes de tamanho para sistemas de base soja no Cerrado brasileiro. Letras minúsculas em cada classe de agregado e profundidade indicam a diferença estatística dos tratamentos pelo teste de Scott-Knott (p<0,05). A sigla ns indica ausência de significância estatística.

Como esperado, à medida que foram registrados aumentos na proporção de agregados maiores houve uma redução na presença de macroagregados pequenos, microagregados ou de solo solto (silte + argila). A teoria da hierarquia de formação dos agregados (Tisdall e Oades, 1982) descreve que partículas primarias de argila e silte se agrupam pela ação de agentes ligantes como cátions polivalentes, compostos orgânicos e óxidos de Fe e Al; por meio da ação de hifas fúngicas, raízes e matéria orgânica esses aglomerados se agrupam em microagregados (< 250 mm) e posteriormente em macroagregados (>250 mm).

CONCLUSÃO

A adoção de plantas de cobertura, especialmente a braquiária solteira ou na entrelinha do milho safrinha são os melhores modelos produtivos para aumentar a agregação do solo em sistemas de base soja no Cerrado Brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Ao CCARBON/USP e a FAPESP pela Bolsa de mestrado (Processo 2024/05184-7). Os autores agradecem a Fundação Rio Verde pela condução da área experimental.

BIBLIOGRAFIA

AGNIHOTRI, R. *et al.* **Glycoproteins of arbuscular mycorrhiza for soil carbon sequestration: Review of mechanisms and controlsScience of the Total Environment**Elsevier B.V., 1 fev. 2022.

ANGHINONI, G. *et al.* Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. **Land Use Policy**, v. 108, 1 set. 2021.

BAGNALL, D. K. *et al.* Selecting soil hydraulic properties as indicators of soil health: Measurement response to management and site characteristics. **Soil Science Society of America Journal**, v. 86, n. 5, p. 1206–1226, 1 set. 2022.

BAPTISTELLA, J. L. C. *et al.* **Urochloa in Tropical AgroecosystemsFrontiers in Sustainable Food Systems**Frontiers Media S.A., 5 ago. 2020.

BISSONNAIS, Y. LE *et al.* Soil aggregate stability in Mediterranean and tropical agro-ecosystems: effect of plant roots and soil characteristics. **Plant and Soil**, v. 424, n. 1–2, p. 303–317, 1 mar. 2018.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. Cover crop impacts on soil physical properties: A review. **Soil Science Society of America Journal**, v. 84, n. 5, p. 1527–1576, 1 set. 2020.

CONAB. **Portal de Informações Agropecuária**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>. Acesso em: 1 mar. 2025.

ELLIOTT, E. T. Aggregate Structure and Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Native and Cultivated Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 3, p. 627–633, 1 maio 1986.

HARTMANN, M.; SIX, J. Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. **Nature Reviews Earth and Environment**, v. 4, n. 1, p. 4–18, 1 jan. 2023.

HUSAIN, H.; DIJKSTRA, F. A. The influence of plant residues on soil aggregation and carbon content: A meta-analysis. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 186, n. 2, p. 177–187, 1 abr. 2023.

LI, G. *et al.* Crop diversification promotes soil aggregation and carbon accumulation in global agroecosystems: A meta-analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 350, 15 jan. 2024.

LOCATELLI, J. L. *et al.* Soil Strength and Structural Stability Are Mediated by Soil Organic Matter Composition in Agricultural Expansion Areas of the Brazilian Cerrado Biome. **Agronomy**, v. 13, n. 1, 1 jan. 2023.

MATTIELLO, E. M. *et al.* Tradeoffs to manage sustainable systems of grain production in tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 244, 1 dez. 2024.

MUELLER, C. W. *et al.* **From rhizosphere to detritusphere – Soil structure formation driven by plant roots and the interactions with soil biotaSoil Biology and Biochemistry**Elsevier Ltd, , 1 jun. 2024.

SANTOS, H. G. DOS *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. [s.l.] Embrapa, 2018.

SIX, J. *et al.* Soil Structure and Organic Matter I. Distribution of Aggregate-Size Classes and Aggregate-Associated Carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 681–689, mar. 2000.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 14, p. 2099–2103, 1 dez. 2000.

SOUZA, V. S. *et al.* Cover crops enhance soil health, crop yield and resilience of tropical agroecosystem. **Field Crops Research**, v. 322, 1 mar. 2025.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141–163, 1 jun. 1982.

WOOD, S. A.; BOWMAN, M. Large-scale farmer-led experiment demonstrates positive impact of cover crops on multiple soil health indicators. **Nature Food**, v. 2, n. 2, p. 97–103, 1 fev. 2021.

YOKOYAMA, A. H. *et al.* Precrops and N-fertilizer impacts on soybean performance in tropical regions of Brazil. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 44, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

BENTONITA COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATO: IMPACTOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE SOB DÉFICT HÍDRICO

Horácio Manfrin Mazero[1*], André Carlos Auler[2], Roberta Morais Mendes[3], Lucas Kussek de Aguiar[4], Rodrigo Roani[1]

[1]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [2]Professor, UFPR, [3]Graduanda em Agronomia, UFPR, [4]Agrônomo, UFPR, [5]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR. *horaciomanfrin@ufpr.br

RESUMO

Os condicionadores de substratos são materiais utilizados para aprimorar as propriedades de um substrato quando este não atende plenamente às exigências para a produção de mudas de alta qualidade. Este estudo avaliou o uso da bentonita como condicionador de substrato na produção de mudas de alface em condições de déficit hídrico. O objetivo foi analisar como diferentes proporções de bentonita (granulada e em pó) e vermiculita influenciam as propriedades físicas do substrato e o desenvolvimento radicular das mudas. O experimento, foi conduzido em casa de vegetação, utilizando a casca de pinus como substrato base. Foram avaliados o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), biomassa fresca e seca radicular. Os resultados indicaram que a vermiculita promoveu maior biomassa radicular, enquanto a bentonita granulada aumentou o DMP. Conclui-se que a escolha do condicionador e sua proporção são determinantes para a qualidade das mudas, sendo essenciais em condições de estresse hídrico.

PALAVRAS-CHAVE: características físicas; desenvolvimento radicular; vermiculita.

INTRODUÇÃO

A intensificação das mudanças climáticas, com aumento das temperaturas e alterações nos regimes de chuva, impacta a agricultura, resultando em períodos prolongados de seca. Nesse contexto, a produção de mudas de alta qualidade favorece o estabelecimento das culturas, reforça a segurança alimentar (Meng *et al*., 2018) e viabiliza o cultivo de espécies sensíveis e nutritivas em regiões áridas e semiáridas. Na produção de mudas de alta qualidade, os substratos desempenham um papel crucial (Meng *et al*., 2019), mas quando suas propriedades são inadequadas, a adição de condicionadores torna-se necessária.

A adição de condicionadores corrige deficiências, especialmente quando a substituição da matéria-prima não é viável. Além disso, como os substratos são frequentemente produzidos longe dos viveiros, os custos de transporte aumentam (Manca *et al*., 2020), reforçando a necessidade de aprimorá-los com condicionadores.

A obtenção de mudas de alta qualidade depende da regulação das propriedades físicas e químicas do substrato, determinadas pelas diferentes proporções de matérias-primas e suas combinações (Lin *et al*., 2023). Estudos indicam que a adição de condicionadores argilosos a solos arenosos pode melhorar a retenção de água, reduzir a evapotranspiração e aumentar a eficiência no uso hídrico (Zayani *et al*., 1996), além de favorecer a agregação e reduzir a densidade do solo (Mi *et al*., 2021). Além disso, argilominerais são abundantes e de baixo custo (Palansooriya *et al*., 2020), o que aumenta sua possibilidade de uso e redução de custos de produção de mudas.

Assim, acredita-se que a adição da bentonita em casca de pinus, usualmente utilizado na produção de mudas, pode trazer mudanças na caracterização físico-hídrica da mistura e, também, incrementar a produção de mudas de alface.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Irrigação, Saneamento e Hidráulica Agrícola (LISHA) e em casa de vegetação, vinculados ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba, Paraná.

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado para a caracterização física das misturas, com tratamentos em arranjo fatorial (3 × 5) e três repetições, e em blocos ao acaso, para produção de mudas de alface, com tratamento em arranjo fatorial (3 x 5 x 2), com três repetições. Os tratamentos envolveram três condicionadores de substrato (bentonita granulada, bentonita em pó e vermiculita) em cinco proporções (0; 12,5; 25; 37,5; 50), para a caracterização física, e a presença ou não de déficit hídrico (3 dias sem irrigação), para o desenvolvimento radicular.

A casca de pinus foi utilizada como substrato base a ser aprimorado, em todas as misturas, sendo a adição feita em relação ao seu volume. A bentonita, nas formas física em pó (Bp) ou granulada (Bg), foi fornecida pela empresa T-Minas Bentonitas Industriais, localizada em Quatro Barras - PR, com a autorização para ser utilizada no estudo. A casca de pinus e a vermiculita expandida (Ve) foram adquiridas localmente em lojas especializadas da região.

A distribuição das partículas nas misturas, foi avaliada submetendo as amostras à vibração vertical em um agitador mecânico de bancada, adaptando-se a metodologia de separação de agregados de solo a seco, então calculou-se o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) (Kemper e Rosenau, 1986).

O experimento foi instalado em bandejas de polietileno com 200 células, sendo que cada célula tinha volume de 12,5 cm^3. A semeadura foi realizada com sementes peletizadas de Alface (*Lactuca sativa L.*) da variedade crespa, da marca Sakata. O manejo de irrigação utilizado adequou-se ao descrito por Marouelli e Braga (2016), para irrigações de bandejas. Aos 27 dias após semeadura, a irrigação foi interrompida em metade do experimento, impondo três dias de estresse hídrico às mudas. Aos 30 dias após semeadura quatro plantas da área útil foram utilizadas para análises destrutivas de biomassa fresca radicular e biomassa seca radicular (48 horas em estufa de ventilação forçada a 65 ºC), pesadas em balança analítica de precisão de 0,001g.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que a adição de condicionadores em substratos altera a distribuição do tamanho de partículas do material, assim como as variáveis de desenvolvimento radicular (Tabela 1).

De modo geral, proporções maiores de Bg aumentam a DMP e a DMG, enquanto proporções maiores de BP diminuem ambos os parâmetros, essas mudanças ocorrem devido a alteração entre a proporção de volume de cada componente. Em estudos utilizando lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e vermiculita, da Silva *et al*. (2020) constataram que a granulometria dos materiais utilizados se relacionou com as respostas obtidas na porosidade total, espaço de aeração e água disponível, principalmente por conta do rearranjo das partículas em cada proporção de mistura dentro do mesmo volume.

As variáveis radiculares apresentaram maiores médias para as misturas de casca de Pinus com Ve, enquanto com Bg e Bp os resultados foram, de maneira geral, semelhantes nas proporções de adição (Tabela 1). As análises de massa fresca e seca fornecem a quantidade de água presente nas mudas de alface, sendo que a melhor combinação de mistura deve ser aquela que proporciona maior retenção de água na planta, dessa forma esses indicadores auxiliam na identificação do melhor substrato e combinações a serem selecionados na produção (Luz *et al*., 2006). Esses autores afirmam que, em condições de estresse ambiental, as mudas com maior retenção de água em suas folhas possivelmente serão as mais resistentes.

Tabela 1. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), biomassa fresca radicular (BFR) e biomassa seca radicular (BSR) do substrato para planta formulado com base em casca de pinus, com adição de proporções (0 a 50%) de três condicionadores: bentonita granulada (Bg), bentonita em pó (Bp) e vermiculita expandida (Ve).

Proporção de adição do condicionador (v:v)	Variável					
	DMP [mm]			DMG [mm]		
	Bg	Bp	Ve	Bg	Bp	Ve
0%	0,97 ns	0,97 ns	0,93 ns	0,96 ns	0,97 ns	0,97 ns
12.5%	1,48 c	3,21 a	2,71 b	1,00 c	1,19 a	1,05 b
25%	1,71 b	1,48 c	1,99 a	1,02 a	0,93 b	1,06 a
37.5%	1,93 a	1,26 c	1,61 b	1,10 a	0,87 c	1,00 b
50%	2,01 a	1,02 c	1,56 b	1,13 a	0,83 c	0,99 b
Proporção de adição do condicionador (v:v)	Biomassa Fresca Radicular [g/planta]			Biomassa Seca Radicular [g/planta]		
	Bg	Bp	Ve	Bg	Bp	Ve
0%	0,34 ns	0,38 ns	0,36 ns	0,006 ns	0,007 ns	0,007 ns
12.5%	0,28 b	0,17 b	0,44 a	0,005 b	0,003 b	0,007 a
25%	0,27 b	0,10 c	0,59 a	0,004 b	0,002 c	0,010 a
37.5%	0,22 b	0,14 b	0,53 a	0,003 b	0,003 b	0,010 a
50%	0,19 b	0,12 b	0,53 a	0,003 b	0,002 b	0,009 a

Notas: Médias seguidas pela mesma letra nas linhas, comparando os condicionadores em cada proporção adicionada a formulação para o substrato pinus, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). ns = não significativo ($p > 0,05$).

O desenvolvimento radicular não foi influenciado pelo déficit hídrico aplicado ao substrato de casca de pinus e suas proporções de condicionadores ($p > 0,05$). Assim, materiais com alta capacidade de retenção de água como a Ve (Vaughn *et al*., 2021) e a Bentonita (Mi *et al*., 2020) conseguiram garantir a sobrevivência das mudas, mesmo na ausência de irrigação.

Assim, o estudo e caracterização física de substratos na produção de mudas não só pode ser aplicada para a determinação de proporções de misturas entre materiais orgânicos e inorgânicos, para atender demandas fisiológicas específicas de cada cultura, como também pode ser usado para parametrização de modelos numéricos que simulem a dinâmica de água e nutrientes no crescimento de mudas em bandejas. Além de fornecer dados consistentes para futuros trabalhos e ensaios em casa de vegetação, evitando experimentos dispendiosos de tentativa e erro.

Dessa forma, a composição final da mistura deve ser cuidadosamente considerada como uma etapa prévia na tomada de decisão de qualquer produção, buscando misturas que provoquem real mudança de melhora, garantia de sobrevivência das plantas, mesmo em condições de estresse, e disponibilidade regional da matéria prima, que altera completamente o custo final de uma produção.

CONCLUSÕES

A granulometria das partículas e as proporções de adição de cada componente desempenham um papel fundamental na variação das características físicas das misturas, além de influenciar em variáveis relacionadas ao desenvolvimento da planta, como as raízes.

A escolha do substrato e seus condicionadores é uma importante decisão na produção mudas de alface, pois garante, ou não, a obtenção de mudas de qualidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao CNPQ pela bolsa de mestrado, a empresa T-MINAS Bentonitas Industriais pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa e ao Programa de Pós-graduação em ciência do solo (UFPR) pela disponibilização dos espaços utilizados.

BIBLIOGRAFIA

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate Stability and Size Distribution. **Methods of Soil Analysis**, SSSA Book Series. p.425–442, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17>.

LIN, L.; QIN, J.; ZHANG, Y.; *et al*. Assessing the suitability of municipal sewage sludge and coconut bran as breeding medium for Oryza sativa L. seedlings and developing a standardized substrate. **Journal of Environmental Management**, v. 344, p. 118644, 2023.

LUZ, J. M. Q.; BRANDAO, F. D.; MARTINS, S. T.; DE MELO, B. Produtividade de cultivares de alface em função de mudas produzidas em diferentes substratos comerciais, 2006. Universidade Federal de Uberlândia.

MANCA, A.; DA SILVA, M. R.; GUERRINI, I. A.; *et al*. Composted sewage sludge with sugarcane bagasse as a commercial substrate for Eucalyptus urograndis seedling production. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, 2020.

MAROUELLI, W. A.; BRAGA, M. B. Irrigação na produção de mudas de hortaliças. **Uberlândia, MG: Campo & Negócios Hortifruti**, 2016.

MENG, X.; DAI, J.; ZHANG, Y.; *et al*. Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings. **Journal of Environmental Management**, v. 216, 2018.

MENG, X.; LIU, B.; ZHANG, H.; *et al*. Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment. **Bioresource Technology**, v. 276, 2019.

MI, J.; GREGORICH, E. G.; XU, S.; *et al*. Changes in soil biochemical properties following application of bentonite as a soil amendment. **European Journal of Soil Biology**, v. 102, 2021.

MI, J.; GREGORICH, E. G.; XU, S.; MCLAUGHLIN, N. B.; LIU, J. Effect of bentonite as a soil amendment on field water-holding capacity, and millet photosynthesis and grain quality. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 2020.

PALANSOORIYA, K. N.; SHAHEEN, S. M.; CHEN, S. S.; *et al*. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. **Environment International**, 2020.

R CORE TEAM. R Core Team 2021 R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. https://www.R-project.org/. **R Foundation for Statistical Computing**, v. 2, 2022.

DA SILVA, M. T.; MARTINAZZO, R.; SILVA, S. D. A.; *et al*. Innovative substrates for sugarcane seedling production: Sewage sludges and rice husk ash in a waste-to-product strategy. **Industrial Crops and Products**, v. 157, p. 112812, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669020307299>.

VAUGHN, S. F.; BYARS, J. A.; JACKSON, M. A.; PETERSON, S. C.; ELLER, F. J. Tomato seed germination and transplant growth in a commercial potting substrate amended with nutrient-preconditioned Eastern red cedar (Juniperus virginiana L.) wood biochar. **Scientia Horticulturae**, v. 280, 2021.

ZAYANI, K.; BOUSNINA, H.; MHIRI, A.; HARTMANN, R.; CHERIF, H. Evaporation in layered soils under different rates of clay amendment. **Agricultural Water Management**, v. 30, n. 2, 1996.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVALIAÇÃO DE SUBSTRATOS COM CONDICIONADORES PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS

Emmeline Veiga Mattos[1], Jessica Maria Moreira dos Santos[1], André Carlos Auler[2], Horácio Manfrin Mazero[3], Roberta de Morais Mendes[1]

[1]Graduanda em Agronomia, UFPR, (email: mila.mattos@ufpr.br); [2] Professor, UFPR. [3]Doutorando PPG Ciência do Solo, UFPR.

RESUMO

A qualidade do substrato é um fator determinante para a germinação e o desenvolvimento inicial das mudas, impactando diretamente a produtividade agrícola. Este estudo tem como objetivo comparar diferentes formulações de substratos contendo condicionadores como vermiculita, bentonita, poliacrilamida, biocarvão de bambu psyllium, em relação a um substrato comercial e um controle. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando delineamento inteiramente casualizado. Foram avaliadas a retenção de umidade dos substratos e a taxa de emergência das mudas, buscando identificar formulações que promovam maior eficiência hídrica e viabilidade econômica. Espera-se que os resultados auxiliem na recomendação de substratos alternativos que reduzam custos de produção, garantam qualidade e permitam maior flexibilidade nas condições de armazenamento e aplicação por produtores.

PALAVRAS-CHAVE: viveiros; retenção de água; emergência de plântulas; vermiculita; biochar.

INTRODUÇÃO

O mercado de produção de mudas de hortaliças exige cada vez mais eficiência e qualidade, impulsionando a busca por substratos que atendam a padrões rigorosos de uniformidade, retenção de umidade e disponibilidade de nutrientes. Conforme destacado por Nascimento e Pereira (2016), a escolha do substrato adequado impacta diretamente no vigor e no crescimento das mudas, influenciando sua adaptação ao campo e sua produtividade final.

Entre os desafios enfrentados pelos produtores, está o alto custo de substratos comerciais, que pode inviabilizar sua adoção por pequenos e médios agricultores. Além disso, a formulação do substrato deve garantir características físico-químicas que promovam o desenvolvimento das mudas, evitando perdas por estresse hídrico e deficiência nutricional (Navroski, 2008).

Para superar essas limitações, o uso de condicionadores de substrato tem sido uma alternativa viável, proporcionando melhorias estruturais e maior eficiência no uso da água. Segundo Mazero (2023), esses materiais são adicionados para corrigir deficiências dos substratos convencionais, otimizando a retenção hídrica e a disponibilidade de nutrientes.

Entre os principais condicionadores utilizados na produção de mudas, destacam-se a vermiculita, bentonita, hidrogel e biochar. A vermiculita e a bentonita contribuem para a retenção de umidade e aeração do substrato, enquanto o hidrogel, um polímero sintético à base de poliacrilamida, pode absorver até 400 vezes sua massa seca em água, minimizando os impactos da irregularidade hídrica (Navroski, 2008). Além disso, o biochar tem sido estudado como um potencial condicionador de substrato devido à sua capacidade de melhorar a retenção de umidade, aeração e disponibilidade de nutrientes. Segundo Petter et al. (2012), a incorporação de biochar ao substrato pode influenciar positivamente o desenvolvimento das mudas, porém, concentrações elevadas podem afetar negativamente o crescimento das plantas.

Diante deste cenário, a presente pesquisa propõe uma avaliação comparativa de diferentes formulações de substrato, visando identificar a combinação mais eficiente para retenção de água e desenvolvimento das mudas. O objetivo é fornecer recomendações técnicas para pequenos e médios produtores, priorizando a qualidade das mudas e a viabilidade econômica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em laboratório e na casa de vegetação do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR (25° 24' 46'' S e 49° 14' 51'' W). O clima da região, segundo classificação de Köeppen é do tipo Cfb (Alvares et al., 2013).

Foram avaliadas sete diferentes formulações de substrato, além de um substrato comercial como controle positivo. A base dos substratos formulados na universidade foi composta por 60% de casca de pinus, 15% de casca de arroz carbonizada e 15% de cama de frango estabilizada com calcário. Os condicionadores adicionados foram (volume/volume): biocarvão de bambu, vermiculita e bentonita (10% cada); poliacrilamida (0,5%) e psyllium (1,5%) – hidrogéis sintéticos e orgânicos, respectivamente. O controle foi composto apenas por pinus (10%).

Além disso, os substratos foram adubados com três tipos de fertilizantes: NPK (10-10-10) com Ca (8%), Mg (2%) e S (1%); NPK (8-16-10) com Ca (4%), Mg (2%) e S (4%); e fertilizante organomineral completo líquido tendo em sua composição carbono orgânico total (0,060%), N (0,100%), P (0,060%), K (0,060%), Ca (0,010%), Mg (0,005%), B (0,005%), Cu (0,002%), Mn (0,010%), Mo (0,001%) e Zn (0,010%). Os fertilizantes sólidos foram triturados e peneirados manualmente (< 2 mm) e incorporados na dose de 5 kg para cada 100 L de substrato. O fertilizante líquido foi adicionado para fornecimento de micronutrientes, na proporção de 50 mL diluídos em 1 L de água para cada 15 L de substrato. Após a incorporação, os substratos foram deixados em repouso por 24 horas para que a umidade interna se redistribuísse completamente.

A caracterização física dos substratos seguiu a metodologia da IN 17/07 (MAPA), mas neste estudo, apresentamos um método para análise da retenção de umidade ao longo do tempo – simulando a retenção de água entre eventos esporádicos de irrigação. Para isso, foi montado um aparelho composto por um funil com papel filtro (faixa azul) acoplado a um erlenmeyer (ou béquer). Foram realizadas quatro repetições do aparato para cada substrato. Após inserir o papel filtro no funil e preencher com uma massa conhecida de substrato, o conjunto foi pesado previamente. Em seguida, adicionou-se uma quantidade conhecida de água deionizada, utilizando uma pipeta automática, até que o excesso de água começasse a drenar. Posteriormente, a massa retida no conjunto foi aferida às 6, 12, 24, 48 e 96 horas. Com base na massa de água adicionada e retida, foram calculadas as porcentagens de retenção, conforme adaptado da metodologia de Nascimento et al. (2021). Durante a incubação, o aparelho foi mantido à temperatura ambiente e coberto com filme de PVC para evitar perdas por evaporação. Foi também montado um conjunto de controle (branco), contendo apenas o papel filtro umedecido, que apresentou 100% de umidade em todos os tempos, confirmando que a água foi efetivamente retida.

Complementarmente, foi realizado um teste de emergência de sementes de tomate (híbrido Ravena, Sakata®, Lote 157512). Neste ensaio, bandejas de 128 células foram preenchidas com os substratos, e duas sementes foram semeadas em cada célula – procedimento adotado para compensar o baixo poder de germinação (56%) devido ao longo tempo de armazenamento, garantindo a emergência (observada como a saída da plântula do substrato) de ao menos uma semente em cada célula.

A normalidade e a homogeneidade dos dados foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o modelo de delineamento inteiramente casualizado e comparações múltiplas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), realizadas com o software R (versão 4.4.1; R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem de emergência das plântulas revelou diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). O substrato comercial (88,19%) e aqueles formulados com poliacrilamida (74,65%) e controle (64,23%), que não diferiram estatisticamente entre si. O tratamento biochar de bambu (42,35%), também não diferiu desses tratamentos, mas apresentou um desempenho intermediário. Em contrapartida, os tratamentos com psyllium (36,80%), bentonita (36,10%) e vermiculita (35,41%) não diferiram entre si e proporcionaram taxas iniciais de emergência significativamente inferiores aos demais. Esses resultados indicam que, embora o substrato comercial forneça as melhores condições de emergência, os tratamentos com poliacrilamida, controle e biochar de bambu se aproximam desse desempenho. Navroski (2008) afirmou que substratos contendo vermiculita – semelhante ao Carolina Soil® avaliado – e polímeros superabsorventes favorecem a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas, o que corrobora a maior emergência observada no tratamento com poliacrilamida.

A avaliação da retenção de água dos substratos ao longo do tempo (6h, 12h, 24h, 48h e 96h) também evidenciou variações significativas ($p < 0,05$). O substrato comercial (CM) destacou-se novamente, apresentando a maior porcentagem de retenção de água (74,21% a 76,48%) durante as 96 h de análise, seguido pelos tratamentos com poliacrilamida (PA) e psyllium (PS), os quais não diferiram entre si (66,72% a 71,07%). Os tratamentos controle (CO), vermiculita (VM) e biochar de bambu (BB) formaram um grupo com capacidade intermediária (59,45% a 61,89%) de retenção de água. O substrato com bentonita (BN) apresentou a menor retenção (54,82% a 56,76%), embora esse valor ainda seja elevado, considerando que o substrato seria capaz de reter aproximadamente 56% da água aplicada após 96 h do último evento de irrigação. Mazero (2023) ressalta que substratos enriquecidos com condicionadores orgânicos podem melhorar a disponibilidade hídrica e a retenção de umidade ao longo do tempo.

Foi realizada uma análise comparativa de custos (Tabela 1) dos substratos formulados, com base em valores de referência obtidos por meio de levantamento de mercado, selecionados aleatoriamente, com três repetições. Os resultados mostram que os substratos formulados apresentam custo por quilo inferior ao substrato comercial (R$ 10,19), enquanto as formulações variam de R$ 6,18 a R$ 6,73 por quilo. Em particular, o formulado com bentonita que apresentou o menor custo, sendo seguido pelo controle e vermiculita. Esses resultados demonstram o potencial econômico dos substratos formulados para reduzir custos de produção. Segundo Jorge et al. (2020) a escolha de substratos alternativos deve considerar não apenas metas agronômicas, mas também a relação custo-benefício, garantindo a eficiência produtiva e acessibilidade econômica para os produtores.

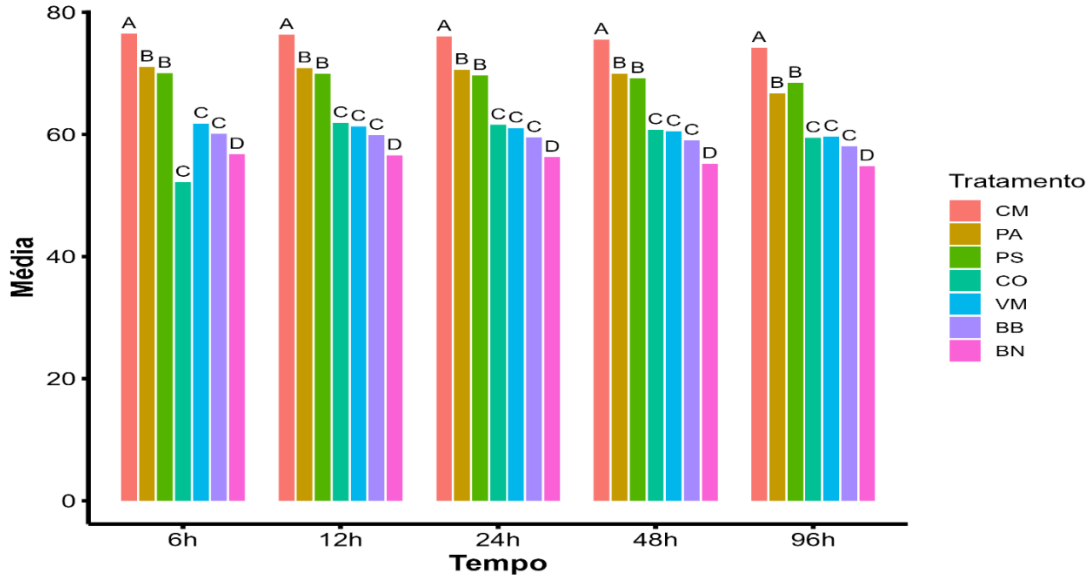


Figura 1. Média da porcentagem de umidade retida nos substratos ao longo do tempo (6h, 12h, 24h, 48h, 96h), considerando quatro repetições para cada tratamento.

Tabela 1. Comparação de custos entre substratos formulados e comercial

Componente	Custo total (R$)	Custo por Kg (Kg/R$)
Comercial	163,04	10,19
Base + Controle	217,15	6,26
Base + Vermiculita	216,67	6,34
Base + Bentonita	225,62	6,18
Base + Biocarvão de Bambu	232,06	6,73
Base + Psyllium	232,84	6,71
Base + Poliacriliamida	223,89	6,45

Notas: O substrato comercial é vendido em embalagens de 45 litros, com um peso total de 8 kg. Para a equivalência com as formulações, os custos foram calculados para 90 litros, correspondendo a 16 kg do substrato comercial.

CONCLUSÕES

Os substratos formulados com poliacrilamida e controle (pinus acrescentado) apresentam potencial para substituir o substrato comercial, apresentando boa retenção de umidade e taxas de emergência garantidas.

AGRADECIMENTOS

À empresa T-MINAS Bentonitas Industriais pelo apoio financeiro (Projeto FINEP: Tecnologia de controle de liberação (P e K) para fertilizantes elevada eficiência). Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento das análises.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, CA; STAPE, JL; SENTELHAS, PC; GONÇALVES, JLM; SPAROVEK, G. **Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil** (2013). *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 6, pág. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº 17, de 21 de maio de 2007. Aprova os **Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos**. (Diário Oficial da União, Seção I, Brasília, DF, 22 maio 2007, pág. 1 - 8).

JORGE, MHA; CASTRO E MELO, RA; RESENDE, FV; COSTA, E; SILVA, J; GUEDES, ÍMR. **Informações técnicas sobre substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2020. 30 p. (Documentos/Embrapa Hortaliças, ISSN 1415-2312; 180).

MAZERO, HM **Bentonita como condicionador de substratos para a produção de mudas.** 2023. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PPECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 14, de 15 de dezembro de 2004. **Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para as plantas.** (Diário Oficial da União, 17 dez. 2004).

NASCIMENTO, EKÁ; REGO, LGS; MIRANDA, NO; FIGUEIRÊDO, VB; SILVA, NG. Curva de retenção de água em substrato de fibra de coco para cultivos em vasos em ambiente protegido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 3, pág 259-265, 2021. ISSN-e 1981-8203.

NASCIMENTO, WM; CALORI, AH; CARDOSO, AII; DORIZZOTTO, CDA; CANTLIFFE, DJ; LESKOVAR, DI; COSTA, E; KOCH, EFA; PÉREZ-ALFOCEA, F; LIMA, GGS; MENTEN, JOM; JORGE, MHA; MORAES, LAS de; PURQUERIO, LFV; CAVALLARO JÚNIOR, ML; ÁZARA, NA de; MADEIRA, NR; SILVA, PP da; BUENO, RCOF; ANDRADE, RJ de (em memória); SHARMA, SP; TIVELLI, SW; FATOR, TL. **Produção de mudas de hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2016. 310 p. (Embrapa Hortaliças, Boletim Técnico, 1).

NAVROSKI, MC **Hidrogel como condicionador de substrato para produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.** 2013. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2013.

PETTER, FA; ANDRADE, FR; MARIMON JÚNIOR, BH; GONÇALVES, LG; SCHOSSLER, TR; Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 4, pág. 44-51, out./dez. 2012.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ARGILOMINERAIS POTENCIAIS COMO CONDICIONADORES DE SUBSTRATOS: IMPACTOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SUBSTRATO E NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE BRÓCOLIS

Roberta Morais Mendes[1*], Carolina Dacal de Azevedo[1], Vanessa Coan Bittercourt[2], Horácio Manfrim Mazero[3], André Carlos Auler[4].

[1*]Graduanda em Agronomia UFPR, Email: robertamorais@ufpr.br, [2]Mestranda PPG Ciência do Solo, UFPR, [3]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Professor, UFPR.

RESUMO

A substituição da turfa por materiais alternativos reduz impactos ambientais. Este estudo avaliou substratos vegetais associados bentonita ou vermiculita na produção de mudas de brócolis. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, seguindo um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3×2, com 8 tratamentos e 4 repetições. Foram analisadas densidade seca, microporosidade, água disponível, volume e diâmetro radicular. A bentonita adicionada aos substratos aumentou a densidade, enquanto a vermiculita favoreceu a retenção de água. A interação substrato e condicionador foi significativa para todas as variáveis, com destaque para fibra de coco com bentonita, que proporcionou maior volume radicular. Conclui-se que a bentonita tem potencial como alternativa sustentável para substratos comerciais, especialmente com fibra de coco.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência hídrica; resíduos agrícolas; argilas expansivas.

INTRODUÇÃO

O uso de compostos na produção de mudas tem grande relevância ambiental, contribuindo para a economia circular e a valorização de resíduos agropecuários. Entre os componentes amplamente utilizados, a turfa destaca-se pela qualidade, mas seu uso intensivo gera impactos negativos, como o esgotamento de turfeiras e a emissão de gases de efeito estufa (Meng et al., 2022). Diante disso, torna-se essencial buscar alternativas sustentáveis com desempenho semelhante.

Um substrato de qualidade deve possuir boas características físicas, como aeração, drenagem e retenção de água adequadas, prevenindo a compactação do torrão e favorecendo o desenvolvimento radicular das plântulas (Jorge et al., 2018). A composição dos substratos geralmente envolve resíduos agroflorestais, como fibra de coco, casca de pinus, casca de arroz carbonizada e resíduos da produção de cogumelos (Bustamante et al., 2021; Jorge et al., 2018).

Além dos materiais orgânicos, a incorporação de argilominerais, como vermiculita e perlita, melhora a retenção de água e a porosidade do substrato (Mi et al., 2020). A bentonita, devido à sua elevada capacidade de absorção hídrica e troca catiônica, tem se mostrado promissora como condicionador de substratos, pois mantém a umidade no ambiente radicular por mais tempo, reduzindo o estresse hídrico e favorecendo o pleno desenvolvimento das mudas (Fernandes et al., 2023; Mazero, 2023). Estudos indicam que a adição de 12,5% de bentonita a substratos com fibra de coco aumenta o volume radicular de mudas de alface, mesmo sob estresse hídrico (Mazero, 2023).

Entretanto, ainda há necessidade de compreender melhor sua influência na resistência das mudas ao estresse hídrico. Assim, este estudo objetiva avaliar o efeito da associação de materiais vegetais com vermiculita e bentonita granulada sobre os atributos físicos dos substratos e seu impacto no sistema radicular de mudas de brócolis (*Brassica oleracea* var. *itálica*).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba – PR, durante 31 dias. As condições ambientais foram controladas, mantendo-

se a temperatura em 23°C e a umidade relativa em 80%, com irrigação por nebulização acionada automaticamente quando o ambiente atingia 70% de umidade.

O delineamento experimental seguiu um esquema fatorial 3×2 inteiramente casualizado (DIC), considerando os fatores substrato vegetal e condicionador mineral, com dois tratamentos adicionais de substratos comerciais, totalizando 8 tratamentos, 4 repetições e 32 unidades experimentais. Cada unidade foi composta por 64 células de 22 cm³. Os condicionadores utilizados foram bentonita granulada ou vermiculita em associação com os substratos vegetais: casca de arroz (com 15% de condicionador), casca de pinus e fibra de coco (ambos com 10% de condicionador), os teores de condicionadores foram definidos com base no volume e densidade dos materiais. Os tratamentos comerciais foram Carolina Soil® e Maxfertil® ambos com presença de turfa em sua composição.

As sementes de brócolis (híbrido Hanapon, SAKATA® lote: 168104) foram semeadas após um período de 24 horas de hidratação do substrato. A fertirrigação iniciou no 13º dia após a semeadura, utilizando solução N10 P6 K6 + Ca6 (1:200) a cada quatro dias. No 31º dia, quando as plântulas apresentavam três folhas verdadeiras, foram coletadas seis amostras por unidade experimental para análise fitométrica. As raízes foram lavadas e preservadas em álcool 70% para avaliação pelo software WinRHIZO®, utilizando digitalização por scanner para a quantificação do volume radicular (mm³) e a distribuição por classes de diâmetro das raízes (0 - 0,5 mm; 0,5 - 1,0 mm; 1,0 - 1,5 mm).

A avaliação do substrato seguiu a Instrução Normativa SDA nº 17/2007. Foram realizadas quatro repetições para cada tratamento. A massa específica de cada tratamento foi calculada pela densidade (kg m^{-3}) a qual foi determinada pelo método de auto-compactação; enquanto a retenção de água foi analisada por meio da mesa de tensão. Para isso, foram preparados anéis volumétricos (≈ 112 cm³) preenchidos com os substratos. As amostras foram saturadas e submetidas a 10 hPa para determinação da macroporosidade (% v/v) e a 30 hPa para avaliação da água facilmente disponível (% v/v), conforme a Instrução Normativa 31/2008/SDA/MAPA. Posteriormente, foram secas a 65°C até atingirem peso constante, possibilitando o cálculo da densidade seca (kg m^{-3}) e demais parâmetros conforme as normativas vigentes. A normalidade e homogeneidade dos dados foram testadas pelos métodos de Shapiro-Wilk e Bartlett, e as comparações estatísticas realizadas por Tukey e Dunnett, utilizando o software R (versão 4.4.1; R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fator substrato influenciou todas as variáveis analisadas. O volume de raízes (p = 0,00046) foi maior em casca de pinus (164,29 mm³) e fibra de coco (156,46 mm³), sendo inferior na casca de arroz (80,21 mm³). O diâmetro radicular <0,5 mm (p = 0,00011) e o comprimento de raízes entre 0,5 - 1 mm (p = 0,00037) seguiram a mesma tendência, com menores valores para casca de arroz. O comprimento de raízes >1 mm (p = 0,04101) também foi menor na casca de arroz (23,61 mm) em relação à fibra de coco (35,37 mm) e à casca de pinus (42,58 mm). A microporosidade (p < 0,0001) e a água facilmente disponível (p < 0,0001) foram superiores na fibra de coco e menores na casca de arroz. A densidade seca (p < 0,0001) foi maior na casca de pinus (447,29 kg m³), seguida por casca de arroz (223,28 kg m³) e fibra de coco (197,60 kg m³). O fator condicionador teve efeito significativo apenas na densidade seca (p < 0,0001), com a bentonita (365,59 kg m³) apresentando maior valor que a vermiculita (213,18 kg m³).

A interação substrato x condicionador foi significativa para todas as variáveis. O maior volume de raízes ocorreu em fibra de coco com bentonita (194,79 mm³) e o menor em casca de arroz com vermiculita (62,25 mm³). O diâmetro radicular < 0,5 mm (p = 0,01361) e o comprimento radicular entre 0,5 - 1 mm (p = 0,01495) seguiram essa tendência. O comprimento de raízes >1 mm foi maior em fibra de coco com bentonita (42,98 mm) e menor em casca de arroz + vermiculita (21,19 mm). A microporosidade foi maior em fibra de coco com vermiculita (80,92%) e menor em casca de arroz com vermiculita (25,14%). A água facilmente disponível (p = 0,00087) também foi maior na fibra de coco com vermiculita (84,30%) e menor na casca de

arroz com vermiculita (19,09%). A densidade seca variou entre 508,60 kg m³ (casca de pinus com bentonita) e 114,64 kg·m³ (casca de arroz com vermiculita). Apenas fibra de coco com vermiculita (246,22 kg m³) se enquadrou na faixa ideal de 150 - 350 kg·m³ (Nascimento et al., 2016), similar à testemunha Carolina Soil® (268,05 kg·m³). Na comparação com as testemunhas, casca de arroz com vermiculita diferiu significativamente do Maxfertil®, enquanto casca de pinus e fibra de coco não apresentaram diferenças em relação às testemunhas comerciais, demonstrando seu potencial para formulações comerciais.

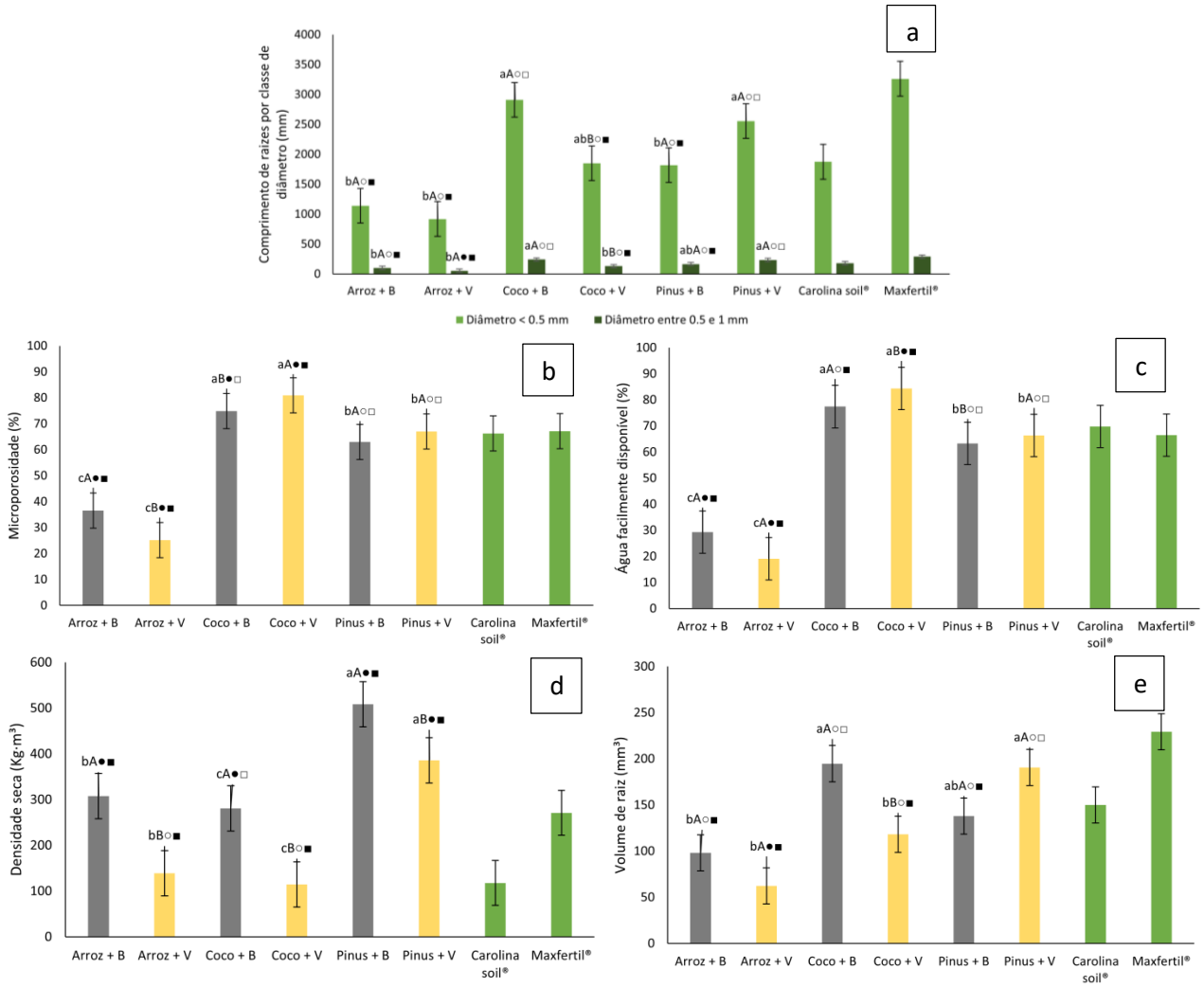


Figura 1. a) Comprimento de raiz por classe de diâmetro; b) Microporosidade; c) Água facilmente disponível; d) Densidade seca; e) Volume de raiz, considerando cada substrato vegetal em associação com um condicionador: bentonita (B) ou vermiculita (V). Letras minúsculas indicam diferenças para o fator A; letras maiúsculas, para o fator B. Comparações com Carolina Soil®: ○ não significativo (NS), ● significativo (S). Comparações com Maxfertil®: □ NS, ■ S.

CONCLUSÕES

A bentonita pode ser uma alternativa viável para otimizar substratos comerciais, especialmente em formulações contendo fibra de coco.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão das bolsas de estudo, à empresa T-MINAS Bentonitas Industriais pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de estágio pelo Projeto FINEP: Tecnologia de controle de liberação (P e K) para fertilizantes de elevada eficiência. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento das análises.

BIBLIOGRAFIA

BUSTAMANTE, M. P.; GOMIS, M. D.; PÉREZ-MURCIA, D.; GANGI, F. G.; CEGLIE, C.; PAREDES, A.; PÉREZ-ESPINOSA, M. P.; BERNAL, R.; MORAL, R. Uso de compostos de resíduos pecuários como substratos para viveiro: Efeito de um pré-tratamento de lavagem. **Scientia Horticulturae**, v. 281, 30 abr. 2021.

FERNANDES, E. F. dos S.; AGUIAR, E.S.; LIMA, É. K.A.; ALVES, K.E. da S.; FARIAS, J. R. de S.; ALMEIDA, Y. B. A. de.; ALVES, M. E. R.; SILVA, H. de J. B.; BRAGA, A. N. S.; SANTOS, V. B. Argila bentonita: uma breve revisão de propriedades e aplicações. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 2, 2023.

JORGE, M. H. A.; MELO, R. A. C.; RESENDE, F. V.; COSTA, E.; SILVA, J.; GUEDES, Í. M. R. **Informações técnicas sobre substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, p.32, 2018.

MENG, X.Y., WANG, Q.P., L., Z., CAI, Y.F., ZHU, M.C, LiI J.L., et al. (2022). Novel seedling substrate made by different types of biogas residues: Feasibility, carbon emission reduction and economic benefit potential. **Industrial Crops and Products**. V. 184. 15 set. 2022.

MI, J.; GREGORICH, E. G.; XU, S.; MCLAUGHLIN, N. B.; LIU, J. Effect of bentonite as a soil amendment on field water-holding capacity, and millet photosynthesis and grain quality. **Scientific Reports**, v. 10, art. 18282, out. 2020.

MAZERO, H. M. **Bentonita como condicionador de substratos para produção de mudas**. 2023. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2023.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ARGILOMINERAIS POTENCIAIS COMO CONDICIONADORES DE SUBSTRATOS: EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE BRÓCOLIS

Roberta Morais Mendes[1*], Damary Andrimar Zadvorne Bueno[1], Guilherme de Souza Sotsek[2], Horácio Manfrin Mazero[3], André Carlos Auler[4]

[1*]Graduanda em Agronomia, UFPR, Email: robertamorais@ufpr.br, [2]Mestrando PPG em Ciência do Solo, [3]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR UFPR, [4]Professor, UFPR.

RESUMO

Os substratos são fundamentais para o bom desempenho de mudas olerícolas. O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento fitométrico de mudas de brócolis em diferentes substratos combinados com bentonita ou vermiculita. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3×2, totalizando 8 tratamentos e 4 repetições. Foram analisadas altura da parte aérea, diâmetro do caule, massa fresca e seca. A interação entre substrato e condicionador influenciou significativamente o diâmetro do caule e a biomassa seca da parte aérea e raiz. A combinação fibra de coco e bentonita favoreceu o acúmulo de biomassa das mudas com média de 12,57 mg, enquanto casca de arroz e vermiculita resultou em menor incremento de massa com 3,75 mg. A bentonita demonstrou potencial para melhorar a retenção de água e o desenvolvimento das mudas, sendo uma alternativa promissora para substratos agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos vegetais; bentonita; produção em viveiro; formulações de misturas.

INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura global é a principal causa da crise climática, com efeitos de secas e chuvas extremas, impactando 3,4 bilhões de pessoas e agravando crises alimentares (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS, 2023). Diante desse cenário, é essencial desenvolver estratégias para mitigar os impactos climáticos na produção agrícola, incluindo a melhoria na produção de mudas.

A produção de mudas a partir de sementes para transplante ao solo é fundamental para espécies sensíveis às intempéries e é amplamente aplicada na olericultura (Schiavon et al., 2015; Cedillo et al., 2024). A garantia de boas características físicas ao substrato de cultivo é crucial para o sucesso, pois influencia o crescimento radicular, a disponibilidade de nutrientes e a resistência ao estresse hídrico (Cedillo et al., 2024).

Os compostos utilizados na produção de mudas têm relevância ambiental significativa, sendo frequentemente preparados com resíduos agrícolas, florestais e industriais, usados em isoladamente ou em combinação, dependendo da disponibilidade e custo local (Nascimento et al., 2016). Exemplos incluem fibra de coco, casca de pinus, esterco animal curtido e resíduos de cogumelos (Bustamante et al., 2021).

Componentes argilominerais, como vermiculita e perlita expandidas, são comumente incorporados para ajustar as propriedades físico-químicas das misturas (Vaughn et al., 2021). A bentonita, devido à sua alta capacidade de absorção hídrica e troca catiônica, é uma alternativa promissora para melhorar a retenção de água e reduzir o estresse hídrico das mudas (Paradelo et al., 2019; Mazero, 2023). Estudos demonstram que a adição de bentonita granulada a fibra de coco apresenta crescimento superior das mudas de alface sob condição de estresse hídrico (Mazero, 2023).

Embora a bentonita demonstre potencial, são necessários mais estudos sobre as proporções ideais de aplicação em substratos para brócolis e seu impacto na resistência ao estresse hídrico. Este trabalho visa avaliar o desenvolvimento fitométrico de mudas de brócolis, analisando o efeito de diferentes combinações de materiais vegetais com vermiculita ou bentonita.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba – PR, por 31 dias. A temperatura foi mantida em 23°C e a umidade em 80%, com irrigação por nebulização acionada automaticamente quando o ambiente atingia 70% de umidade.

Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3×2 (substrato vegetal e condicionador), com dois tratamentos adicionais de substratos comerciais, totalizando 8 tratamentos, 4 repetições e 32 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por 64 células de 22 cm^3. Os substratos vegetais (casca de arroz, casca de pinus e fibra de coco) foram combinados com condicionadores minerais (bentonita granulada ou vermiculita), sendo a bentonita fornecida pela T-Minas Bentonitas Industriais. A casca de arroz recebeu 15% de condicionador, enquanto fibra de coco e casca de pinus receberam 10%. Os tratamentos adicionais incluíram Carolina Soil® e Maxfertil®.

Os substratos foram umedecidos por 24 horas antes da semeadura do híbrido de brócolis Hanapon, SAKATA® (semente revestida, categoria S2, safra 2021/2022, germinação 93%, pureza 99.9%, validade nov./2024, lote: 168104). A fertirrigação iniciou no surgimento da primeira folha verdadeira (13 dias após a semeadura) com fertirrigação de solução N10 P6 K6 + Ca6 em água (proporção de 1:200), aplicada a cada 4 dias e as plântulas molhadas até o escoamento da solução pelas áreas de drenagem das bandejas.

No 31º dia, momento em que as plântulas contavam com três folhas verdadeiras, foram avaliadas em seis amostras em sequência linear da região central da unidade experimental. Analisaram-se altura da parte aérea (cm), diâmetro do caule (mm), massa fresca e seca (mg) da parte aérea e raiz. A normalidade e homogeneidade dos dados foram testadas por Shapiro-Wilk e Bartlett. Para interações significativas, realizou-se desdobramento. As comparações múltiplas foram feitas por Tukey, e Dunnett comparou substratos experimentais e comerciais. As análises foram realizadas no software R (versão 4.4.1; R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os substratos influenciaram significativamente o desenvolvimento das mudas, afetando a altura de plântula, diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea e de raiz. Os substratos fibra de coco e casca de pinus proporcionaram melhores condições para o crescimento das plântulas, sem diferenças estatísticas em relação aos substratos comerciais Carolina Soil® e Maxfertil®. Em contraste, a casca de arroz apresentou os piores resultados, resultando em mudas inviáveis com menor acúmulo de biomassa. Esse desempenho inferior pode ser atribuído à sua composição física e química, que, isoladamente, não atende às exigências para o desenvolvimento adequado das plântulas. Por esse motivo, a casca de arroz é tradicionalmente utilizada em menor proporção em misturas, atuando principalmente no ajuste da densidade e porosidade do substrato (Watthier et. al. 2017).

Dentro dos substratos, o tipo de condicionador também apresentou efeito significativo sobre o desenvolvimento das mudas, com a bentonita resultando em médias superiores em comparação à vermiculita. A bentonita promoveu maior altura de plântula (11,41 cm vs. 10,22 cm), espessura de caule (1,30 mm vs. 1,18 mm), massa fresca da parte aérea (142,05 mg vs. 114,56 mg) e massa seca da parte aérea (9,81 mg vs. 7,53 mg). Esses resultados indicam que a bentonita, possivelmente devido à sua capacidade de retenção de água e troca catiônica, favorece a absorção de água e nutrientes, e, consequentemente, o desenvolvimento das plântulas. No entanto, para as variáveis relacionadas à raiz, como massa fresca e seca, o efeito do condicionador não foi significativo, sugerindo que sua influência está mais relacionada ao desenvolvimento da parte aérea das plantas.

A interação entre substrato e condicionador foi significativa para três atributos: Diâmetro do caule, massa seca da parte aérea e de raiz. A combinação fibra de coco e bentonita apresentou maior diâmetro de caule (1,51 mm), seguida de casca de pinus e vermiculita (1,27 mm), indicando que a associação de

determinados substratos com condicionadores pode potencializar o crescimento estrutural das plântulas. Para a massa seca da parte aérea, a casca de arroz mais bentonita (5,53 mg) resultou em maior acúmulo de biomassa em comparação ao mesmo substrato combinado com vermiculita (3,75 mg). Na massa seca de raiz, a combinação fibra de coco e bentonita (10,12 mg) favoreceu o desenvolvimento radicular, enquanto a combinação de casca de arroz e vermiculita (3,16 mg) apresentou os menores valores. A massa fresca de raiz demonstrou tendência à significância (p = 0,0712), mas não foi estatisticamente relevante. A altura de plântula (p = 0,08982), e a massa fresca da parte aérea (p = 0,38876) não apresentaram significância no grau de 5%.

Os resultados obtidos corroboram com Mazero (2023) demonstrando que a bentonita pode atenuar, em certa medida, as limitações em substratos com alta proporção de casca de arroz e que devido a sua alta capacidade de retenção de água promove prolongamento de disponibilidade de água para as mudas, promovendo um incremento de massa maior.

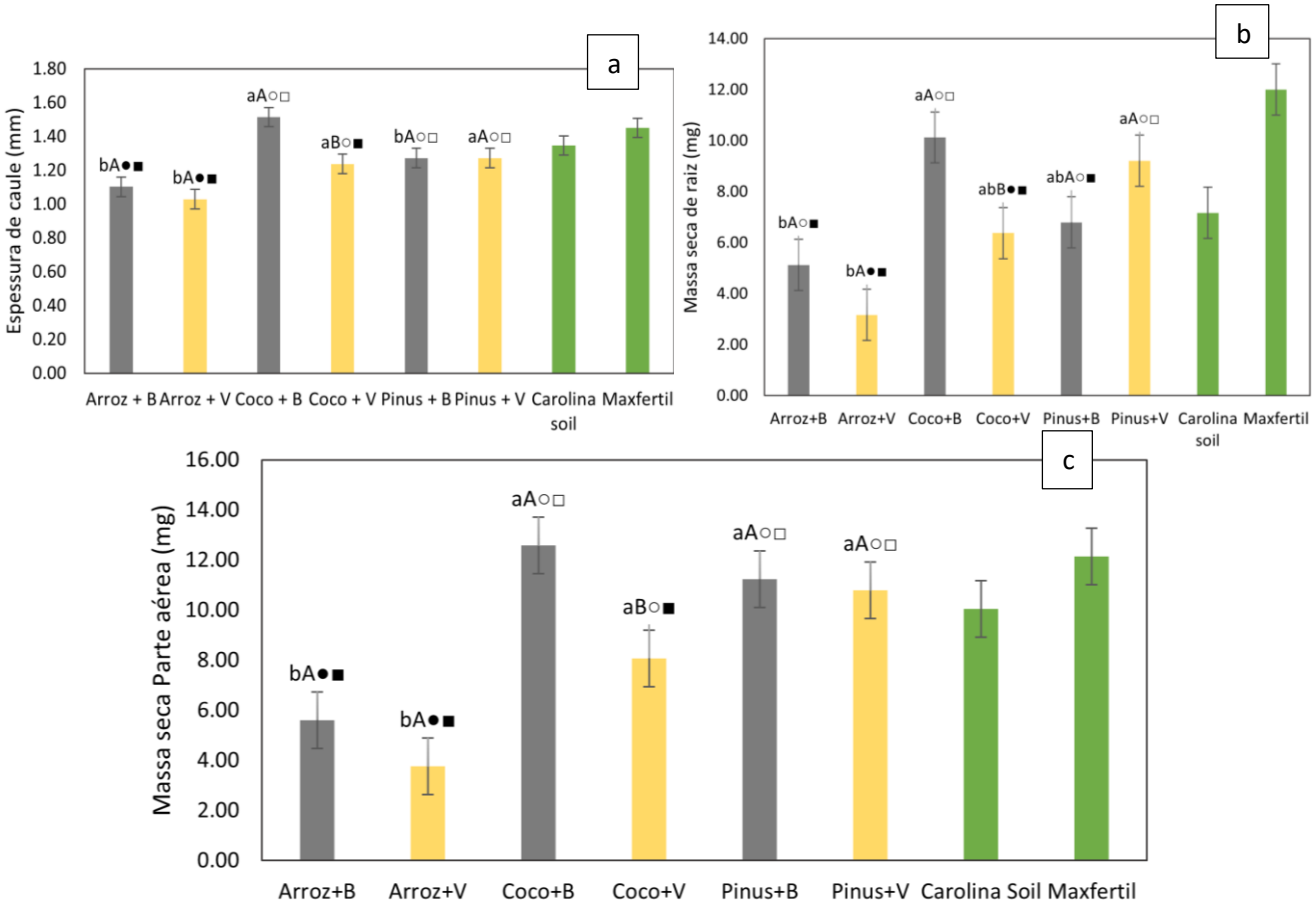


Figura 1. a) Espessura do caule; b) Massa seca da raiz; c) Massa seca da parte aérea. Considerando cada substrato vegetal em associação com um condicionador, sendo (B) bentonita e (V) vermiculita. Letras minúsculas indicam diferenças para o fator A (substrato); letras maiúsculas, para o fator B (condicionador). Comparações com Carolina Soil®: "○" não significativo (NS), "●" significativo (S). Comparações com Maxfertil®: "□" NS, "■" S.

CONCLUSÕES

Os resultados evidenciam que, embora o substrato tenha um papel determinante no desenvolvimento das mudas, o condicionador pode potencializar ou minimizar seus efeitos, reforçando a

importância da escolha combinada desses fatores para melhorar o desenvolvimento das mudas.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão das bolsas de estudo, à empresa T-MINAS Bentonitas Industriais pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de estágio pelo Projeto FINEP: Tecnologia de controle de liberação (P e K) para fertilizantes de elevada eficiência. Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento das análises.

BIBLIOGRAFIA

BUSTAMANTE, M.; GOMIS, M.; MURCIA, D.; GANGI, F.; CEGLIE, C.; PAREDES, A.; ESPINOSA, M.; BERNAL, R.; MORAL, R. Use of livestock waste composts as nursery growing media: Effect of a washing pre-treatment. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 281, 2021.

CEDILLO, V.; NÁJERA, C.; GRUDA, N.; SIGNORE, A.; GALLEGOS, J.; RODRÍGUEZ, R.; OCHOA, J.; EGEA-GILABERT, C.; FERNÁNDEZ J. An in-depth analysis of sustainable practices in vegetable seedlings nurseries: A review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 334, 2024.

MAZERO, H. **Bentonita como condicionador de substratos para produção de mudas**. 2023. p. 119. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

NASCIMENTO, W.; SILVA, P.; CANTLIFFE, D. Qualidade das sementes e estabelecimento de plantas. In: NASCIMENTO, W. **Produção de mudas de hortaliças**. Embrapa Hortaliças, Brasília, p. 55-86, 2016.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA (IPCC). **Mudança Do Clima 2023 Relatório Síntese**. Geneva, p. 182, 2023.

PARADELO, R.; BASANTA, R.; BARRAL, M. Water-holding capacity and plant growth in compost-based substrates modified with polyacrylamide, guar gum or bentonite. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 243, p. 344-349, 2019.

SCHIAVON, A.; BLIND, A.; ECKSTEIN, B.; PINHEIRO, J. Produção de mudas de brócolis. **Embrapa Hortaliças**, Brasília, ed. 1, p. 82, 2015.

VAUGHN, S.; BYARS, J.; JACKSON, M.; PETERSON, S.; ELLER, F. Tomato seed germination and transplant growth in a commercial potting substrate amended with nutrient-preconditioned Eastern red cedar (*Juniperus virginiana L.*) wood biochar. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 280, 2021.

WATTHIER, M.; SILVA, M.; SCHWENGBER, J.; FERMINO, M. Production of lettuce seedlings in substrates with tung compost, carbonized rice husk and earthworm humus. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 174-179, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM DIFERENTES POSIÇÕES NA PAISAGEM EM ÁREAS COM TERRAÇOS E SEM TERRAÇOS

Renan Geremia[1*], Wander da Silva Ferreira Raboni[2], André Pellegrini [3], Miriam Fernanda Rodrigues[4], Fabiana Luiza Matielo de Paula[5]

[1] Aluno do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *campus* Dois Vizinhos. *E-mail: geremia@alunos.utfpr.edu.br, [2] Engenheiro Agrônomo, UTFPR, *campus* Dois Vizinhos, [3] Professor do Curso de Engenharia Florestal, UTFPR, *campus* Dois Vizinhos, [4]Professora do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, [5]Pós-doutoranda, UTFPR, *campus* Dois Vizinhos.

RESUMO

A avaliação da infiltração na paisagem e essencial para caracterizar o solo em relação aos seus parâmetros físicos. O objetivo foi avaliar o comportamento da infiltração em diferentes posições na paisagem com terraço (CT) sem terraço (ST) em área de plantio direto na UTFPR- DV. A infiltração de água no solo foi avaliada (2019 e 2020), com infiltrômetro de anéis concêntricos, no topo, meia-encosta e base (CT e ST). Os dados da velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%). A VIB não diferiu entre as posições nas CT e ST em 2019. Em 2020, a VIB foi menor na meia-encosta CT em comparação à ST, mas não diferiu nas demais posições. A variabilidade espacial do solo de um ano para o outro influenciou na velocidade de infiltração de água no solo.

PALAVRAS-CHAVE: taxa de infiltração, manejo do solo, conservação do solo.

INTRODUÇÃO

A infiltração de água no solo tem papel importante na dinâmica hidrológica dos solos e no controle do escoamento superficial, uma vez que o aumento na infiltração de água no solo diminui a água disponível para o escoamento em superfície. A avaliação da taxa de infiltração de água na paisagem é essencial para caracterizar a funcionalidade do solo, uma vez que essa propriedade é sensível às alterações no sistema de cultivo e manejo do solo (Vilarinho *et al*., 2013).

As atividades antrópicas que são exercidas com fins econômicos influenciam de forma direta no processo de infiltração de água no solo e quanto mais próximo das condições naturais estiver o solo, maiores são as taxas de infiltração. O tráfego intenso de maquinários agrícolas altera a densidade do solo ocorrendo a formação de crostas, resultando na redução da taxa de infiltração e na capacidade de retenção hídrica (Denardin *et al*., 2005). O terraceamento, juntamente com o plantio direto, são práticas de manejo que visam a conservação do solo para reduzir as perdas de água e solo e contribuiu para aumentar a infiltração de água no solo.

A complexidade do processo de infiltração e de redistribuição de água no solo é grande, uma vez que depende de vários fatores como a composição química do solo e da água, a intensidade e duração da chuva, a topografia, a temperatura, a microbiologia do solo e também da variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas no perfil do solo (Assouline, 2013; Gonçalves *et al*., 2021).

Com o intuito de avaliar a infiltração do solo em diferentes condições, objetivou-se, com este estudo, avaliar o comportamento da infiltração em diferentes posições na paisagem com terraço (CT) sem terraço (ST)em área de plantio direto na UTFPR- DV

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos, situada em latitude de 25° 42’ 52’’ S e longitude de 53° 03’ 94’’ O – GR, a 520 metros de altitude,

em áreas com e sem terraço, com área total de 3,84 ha, com solo predominante na área classificado como Nitossolo Vermelho (Alvares *et al.,* 2014).

Os pontos amostrais selecionados para as avaliações da infiltração de água no solo foram as linhas 2, 5 e 8 (Figura 1A), representadas nos resultados por (Topo – L2, Meia-Encosta – L5 e Base – L8), ficando espaçadas em 72 metros entre colunas, já a distância entre os pontos na linha é de 24 metros. Cada ponto amostral foi representado pela média de 3 repetições equidistantes 2 metros do ponto central, para tentar comprovar a real existência da variabilidade da infiltração de água no solo.

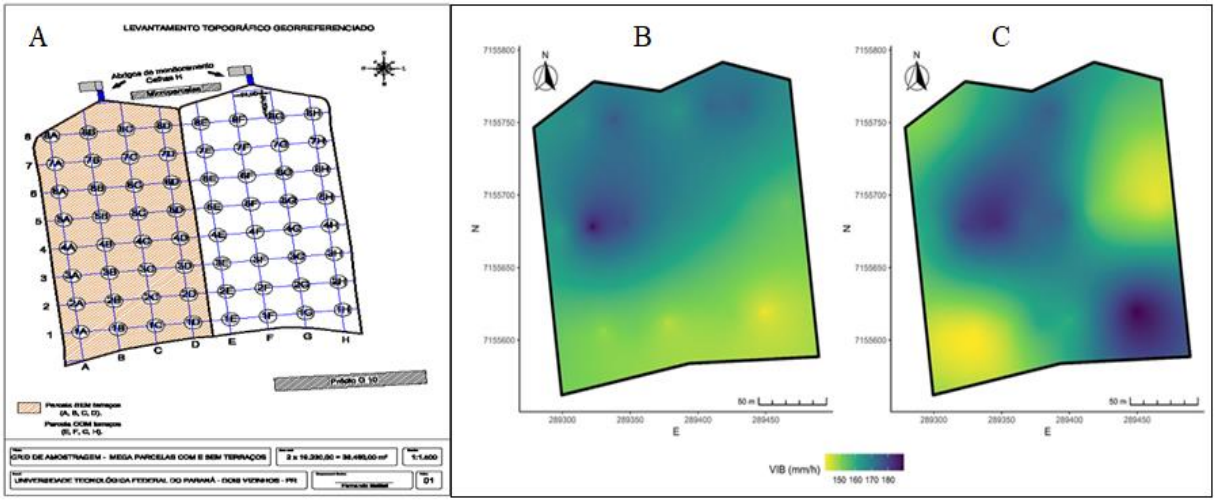


Figura 1. Grid de amostragem: áreas com e sem Terraços (A) e variabilidade da espacial Velocidade de Infiltração Básica (mmh^{-1}) no ano de 2019 (B) e 2020 (C).

A velocidade de infiltração foi determinada pelo ensaio de infiltração, em campo, com uso de infiltrômetro com anéis concêntricos, para realizar as leituras do volume da água infiltrado no tempo. Durante o ensaio, o constante preenchimento de água no anel externo foi realizado para evitar o fluxo lateral da água do anel interno, garantindo assim o seu fluxo descendente (Assouline, 2013). A altura da saída de água do infiltrômetro com a superfície do solo foi padronizada em 2 centímetros, para evitar a variação da carga hidráulica e para manter o potencial de pressão constante durante a realização do ensaio (Bertol *et al*., 2019). A leitura do volume da água infiltrado foi realizada nos tempos de: 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150 minutos, o que totalizou duas horas e meia desde o início, ao fim do processo.

Os dados de velocidade de infiltração básica (VIB) no solo foram submetidos à análise de variância e, quando houveram diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo, em 2019, não diferiu entre a CT e a ST nas posições avaliadas na paisagem. Em 2020, a VIB diferiu entre a CT e a ST apenas na meia-encosta, com menor infiltração na CT (60,0 mmh^{-1}) quando comparado com a ST (108,2 mmh^{-1}). A VIB não diferiu entre a CT e a ST nas demais posições na paisagem (Tabela 1).

A maior infiltração pode ser atribuída à retirada dos terraços da ST, pois houve intenso trafego de maquinas pesadas sob o local de experimento. A subsolagem realizada após a retirada dos terraços da ST diminuiu a compactação do solo, o que aumentou a infiltração de água no solo. A compactação do solo influencia o espaço poroso, sendo considerado um dos principais mecanismos determinantes na diminuição das taxas de infiltração dos solos (Sonderegger *et al*., 2020).

Outro fator que pode ter contribuído para a menor infiltração observada na meia-encosta CT, se deu em função da variabilidade espacial do solo no ponto de observação quando comparado com o ano de 2019, sendo que no ano de 2020 na área com terraço na meia-encosta apresentou uma Velocidade de Infiltração Básica (VIB em mm h^{-1}) menor que na área sem terraço (Figura 1 B e C), sendo a variabilidade espacial do solo um dos fatores importantes na avaliação da infiltração de água no solo (Assouline, 2013).

Tabela 1. Velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo (mm h^{-1}) no topo, na meia-encosta e na base de duas encostas, uma sem terraços (ST) e outra com terraços (CT), em 2019 e 2020, em Dois Vizinhos - PR, Brasil.

VIB (mm h^{-1})				
Posição na paisagem	ST		CT	
2019				
Topo	107,8	a	125,3	a
Meia-encosta	141,8	a	152,2	a
Base	130,6	a	184,0	a
2020				
Topo	74,3	a	87,3	a
Meia-encosta	108,2	a	60,0	b
Base	101,8	a	132,8	a

Nota: médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%

Observa-se na Tabela 1 que houve uma redução em todos os pontos avaliados na taxa de infiltração de água no solo, nas áreas com e sem terraços entre o ano de 2019 para 2020. Esse comportamento pode ter ocorrido em função do aumento da compactação das áreas avaliadas, em função do trafego de máquinas (Fernandes *et al*., 2022) para o manejo dos tratos culturais e colheita. Esse efeito é intensificado na ST onde, no ano anterior, foi realizada a subsolagem no local de retirada dos terraços, promovendo a descompactação do solo. A infiltração é um processo dinâmico que não depende somente das condições físicas do solo, pode ser influenciada também, pelo grau de cobertura do solo, umidade antecedente e processos que ocorrem durante a chuva como a formação de selamento superficial pelo impacto das gotas das chuvas na superfície do solo e a redução do gradiente potencial de água (Gonçalves *et al*., 2021).

Os terraços provaram ser a prática eficiente no aumento da infiltração, seguidos por alta adição de fitomassa (Koppe *et al*., 2022), comportamento esse não observado nesse experimento, sendo que as áreas apresentaram diferenças na infiltração, diferindo somente na meia-encosta no ano de 2020, sendo que na área com terraços apresentou o menor valor de infiltração (Tabela 1).

A ausência de diferença na VIB entre a CT e a ST na maioria das posições avaliadas pode ser decorrente do mesmo manejo do solo e das culturas na CT e na ST, em que a quantidade de palha na superfície do solo foi semelhante. A palha no sistema plantio direto contribui para amortecer o impacto das gotas de chuva, diminuindo o selamento superficial. Porém, com a ocorrência de chuvas muito intensas, as áreas com terraços podem ter maior taxa de infiltração do que em áreas sem terraço (Koppe *et al*., 2022), uma vez que a ação da chuva pode ocasionar a perda de palha da superfície do solo, principalmente, em ambientes declivosos sem terraceamento. Contudo, em ambientes com terraceamento, o terraço age como barreira física que atua diminuindo a velocidade do escoamento superficial (Denardin *et al*., 2005), o que diminui a energia cinética do escoamento e o seu potencial de erosão e transporte de palha que está sobre a superfície do solo.

CONCLUSÕES

A infiltração de água no solo não diferiu entre as áreas com e sem terraços em 2019, independentemente da posição na paisagem (topo, meia-encosta e base).

Quando avaliado o ano de 2020 em função da variabilidade espacial do solo, a meia-encosta na área com terraço apresentou uma infiltração menor que na área sem terraço e nas demais posições (Topo e Base) e sem diferenças da infiltração nas duas áreas (CT e ST).

A variabilidade espacial do solo de um ano para o outro influenciou na velocidade de infiltração de água no solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) -Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio e pelas bolsas de pesquisa e pelos recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A. STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M DE; SPAROVEK, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2014.

ASSOULINE, S. Infiltration into soils: Cenceptual approaches and soluctions. **Water Resources Research**, v. 49, 2013.

BERTOL, O. J.; COLOZZI FILHO, A.; BARBOSA, G. M. de C.; SANTOS, J. B. dos; GUIMARÃES, M. de F. (org.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná**. Curitiba: Cubo, 2019. v. 1. 325p.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOl, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. **Manejo de Enxurrada em Sistema Plantio Direto**. Porto Alegre, RS: Fórum Estadual de Solo e Água, p. 37-45, 2005.

FERNANDES, B.B.; MARASCA, I.; MARTINS, M.B.; SANDI, J.; SILVA, K.D da; LANÇAS, K.P. Efeito do tráfego agrícola na infiltração de água no solo. **Irriga**, v. 27, n. 2, p. 343-356, 2022.

GONÇALVES, A. A.; Sousa, E.F.; LIMA, I.S.; SALAZAR, R.D.C.; GOMES FILHO, R.R. Determinação da Velocidade de Infiltração Básica da água no Neossolo por meio de anéis concêntricos na área experimental da UFS. **Ciências Rurais em Foco**, Belo Horizonte, v. 2, p. 8-11, 2021.

KOPPE, E.; SCHNEIDER, F.J.A.; LONDERO, A.L.; QUEIROZ, R.; BULIGON, L.; MINELLA, J.P.G. Soil water infiltration from punctual to hillslopje scales. **Environ Monit Assess**. v. 194, p. 1-22, 2022.

SONDEREGGER, T.; PFSTER, S.; HELLWEG, S. Assessing impacts on the natural resource soil in life cycle assessment: Methods for compaction and water erosion. **Environmental Science and Technology**, v.54, 6496–6507, 2020.

VILARINHO, N. K. C.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. C. M.; SILVA, E. M. B. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v. 7, n. 1, p. 17-26, 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES EM LAVOURA SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO

Fabiana Luiza Matielo de Paula[1*], Bruna Thalia Silveira Sabino[2], André Pellegrini[3], Paula Raquel Reffatti[2], Jonatha Julio Cancelier[4]

[1] Pós-doutoranda, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, * fabianadepaula3@hotmail.com, [2]Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos, [3]Professor do COENF, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, [4] Eng. Agr. Bolsista de Apoio Técnico nível superior.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência na redistribuição de água no solo em lavoura sob plantio direto. O estudo foi realizado na área experimental UTFPR-DV localizada na região Sudoeste. Para o monitoramento da umidade do solo, foi utilizada a técnica do FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência), sendo 4 *dataloggers* instalados na parcela sem terraço e os outros 4 na parcela com terraço em 6 profundidades do perfil do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Os maiores valores de umidades foram encontrados na parte inferior da área das lavouras, onde estão os pontos CT4 (com terraço) e ST4 (sem terraço). Os maiores valores foram nas profundidades (0,3 m e 0,5 m) na parcela CT e (0,5 m e 0,75 m) na ST, destacando a profundidade de 0,5 m para ambas as áreas

PALAVRAS-CHAVE: dinâmica da água; terraceamento; Nitossolo Vermelho

INTRODUÇÃO

O monitoramento da umidade do solo em diferentes profundidades é importante para a avaliação do movimento água em uma bacia hidrográfica, bem como o seu armazenamento no solo e potencial para o abastecimento de nascentes, além de fornecer subsídios para estudos de escoamentos superficial e subterrâneo. A umidade do solo é importante para processos de infiltração, escoamento superficial e transporte de sedimentos, e também influencia na interação entre solo e atmosfera por meio da evapotranspiração e nos processos associados à erosão hídrica, sendo importante para o manejo e conservação do solo. A umidade no solo constitui-se em uma das variáveis mais importantes para estudos de condutividade hidráulica e infiltração (Freitas *et al*., 2021).

O conteúdo de água no solo é influenciado por um conjunto de fatores, dentre os quais se destacam a heterogeneidade nas características do solo, tais como textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e existência de macroporosidade, que afetam a transmissividade do fluido e as propriedades de retenção da água no solo; a declividade da área pode influenciar no escoamento superficial e na infiltração, o tipo e a densidade da cobertura vegetal podem interferir no volume de água, através de mecanismos de evapotranspiração, radiação solar e outros fatores meteorológicos. Segundo Hu et al., (2010) observaram que a maioria dos estudos de análise da estabilidade temporal da umidade do solo têm-se concentrado na camada superficial e são poucos os estudos que avaliam o perfil de solo. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo, avaliar a influência na redistribuição de água no solo em lavoura sob plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas lavouras pareadas de 1,92 ha cada, ambas sob plantio direto com a diferença de uma ter terraços e outra foram retirados. A localização das áreas fica na Fazenda Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV), região Sudoeste do

Estado-PR. Essa se encontra no Terceiro Planalto, sobre rochas basálticas da formação Serra Geral (Manasses *et al*., 2011), Latitude 25°42’ S, Longitude 53°06’ O e Altitude de 509 m.

O clima da região é classificado de acordo com a classificação climática de Köppen (Alvares *et al*., 2014) como Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida. A temperatura média nos meses mais quentes é acima de 22° C e nos meses mais frios abaixo de 18° C (Alvares *et al*., 2014). A precipitação média anual para o município de Dois Vizinhos é de 2.010,60 mm (Vieira *et al*., 2018). O mês de outubro tem o maior volume precipitado (243 mm) e o mês de agosto com menor precipitação acumulada mensal (113 mm) (Vieira *et al*., 2018). O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al*., 2018).

Para o monitoramento da umidade do solo, foi utilizada a técnica do FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência) na versão TEROS 10 da METER Group®, composto por um *Datalogger* modelo ZL6 Basic e seis sensores. Neste estudo, foram utilizados 8 *Dataloggers* e 48 sensores no total, sendo 4 *Dataloggers* instalados na parcela sem terraço e os outros 4 na parcela com terraço a uma distância média de 40 m cada *Datalogger* (sendo o CT1 – 46 m, CT2 – 43 m, CT3 – 34 m e CT4 - 11,2 m da calha H de monitoramento), pois foram instalados levando em consideração a distância média entre os terraços e seguindo as mesmas distâncias (posicionamento na encosta) na lavoura sem terraços. Em cada parcela foram abertas 4 trincheiras e em cada uma delas, foram inseridos sensores em 6 profundidades diferentes ao longo do perfil do solo, as quais foram: 0,1 m, 0,3 m, 0,5 m, 0,75 m, 1,10 m, e 1,30 m, após a inserção dos sensores, todo o solo foi acomodado novamente dentro da trincheira. As leituras foram monitoradas do mês de outubro de 2024 até dezembro de 2024, com registros a cada hora e baixados os dados a cada 15 dias.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 1 que as umidades do solo na área com terraço apresentou diferenças significativas entre os conjuntos de sensores instalados em função da posição na área, os sensores posicionados na parte inferior da área apresentaram os maiores valores de umidade do solo, diferindo estatisticamente somente dos sensores instalados na parte superior da área em todos os meses avaliados, quando comparado com a área sem terraço as posições dos sensores não influenciaram nos valores de umidade do solo. As diferenças de umidade observadas na área com terracemanento em função da posição do conjunto de sensores, está relacionado ao maior acúmulo de água nas partes mais baixas da área de terraceamento, quando comparada a parte superior.

Deng et al., (2021) mencionam importantes vantagens dos terraços, como a redução do escoamento e sedimentos em mais de 41,9% e 52%, respectivamente, e a melhoria dos rendimentos de grãos e do teor de umidade do solo em 44,8% e 12,9%, respectivamente. Além disso, o terraceamento também aumenta a umidade, evitando a perda de água, o que efetivamente melhora a resistência da cultura à seca e, consequentemente, aumenta o rendimento da cultura. Ainda sobre os efeitos dos terraços na manutenção da umidade do solo e redução do escoamento superficial, Londero et al., (2021) observaram uma redução de 56% do escoamento em superfície em uma bacia com a presença de terraços, reafirmando ainda mais a importância do seu uso em áreas agrícolas.

Vale ressaltar ainda que, as maiores médias de umidade monitoradas se concentraram no mês de dezembro, associado ao evento de chuva neste mês, que acumulou um total precipitado de 430,8 mm segundo os dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Já as menores médias de umidade foram observadas no mês de novembro, corroborando com o fato de uma ocorrência menor de chuvas dentre os meses analisados, que acumulou apenas 158 mm no total.

Tabela 1. Valores médios de umidade do solo (m^3m^{-3}) em seis profundidades e em 4 pontos da encosta nas áreas com e sem terraços.

Umidade do solo com terraço (m^3m^{-3})						
Meses	**CT1**	**CT2**	**CT3**	**CT4**	**média**	**CV%**
10/2024	0,412 B	0,428 AB	0,445 AB	0,451 A	0,434	4,9
11/2024	0,406 B	0,422 AB	0,443 AB	0,443 A	0,429	5,23
12/2024	0,418 B	0,431 AB	0,451 AB	0,454 A	0,438	4,59
Umidade do solo sem terraço (m^3m^{-3})						
Meses	**ST1**	**ST2**	**ST3**	**ST4**	**média**	**CV %**
10/2024	0,414^{ns}	0,419^{ns}	0,416^{ns}	0,421^{ns}	0,417	3,21
11/2024	0,404^{ns}	0,405^{ns}	0,407^{ns}	0,416^{ns}	0,408	3,32
12/2024	0,419^{ns}	0,426^{ns}	0,423^{ns}	0,426^{ns}	0,423	3,16

Notas: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; Abreviações: CT- com terraço e ST – sem terraço com *Datalogger* nas posições: 1-46m, 2 - 43m, 3 - 34m e 4 - 11,2 m da calha H de monitoramento.

Com relação aos sensores em função da profundidade (Figura 1), observa-se que a umidade seguiu uma ordem crescente até a profundidade de 0,5 m sendo nessa profundidade a maior umidade observada nos dois sistemas de plantio sem diferenças significativas, com valores de 0,44 e 0,45 m³ de água por m³ de solo para os plantios sem terraço e com terraço, respectivamente. Após a profundidade de 0,75 m observa-se que a umidade na área sem terraço foi menor quando comparada com a área com terraço, sendo que na área com terraço a umidade manteve-se em profundidade em relação a área sem terraço, mesmo comportamento observado na profundidade de 0,3 m com diferenças significativas entre as umidades observadas na áreas com e sem terraço, observado valores maiores na área com terraço, exceto nas profundidades 0,1; 0,5 e 0,75 m que não apresentaram diferenças significativas nas umidades avaliadas.

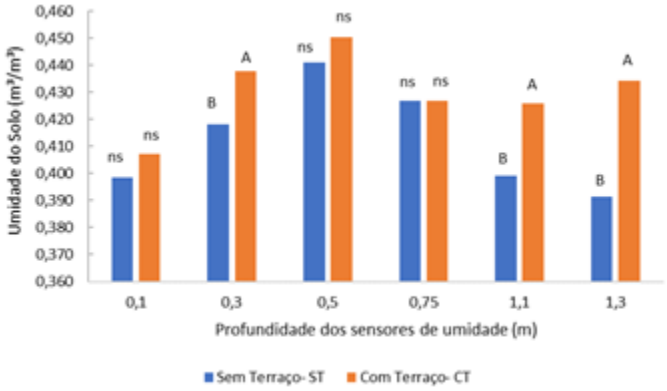


Figura 1. Média da umidade do solo dos 4 pontos de monitoramento na encosta, em área com terraço (CT) e sem terraço (ST) em seis profundidades. Notas: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns - não significativo.

Werle (2024) estudando sobre a modelagem do efeito do terraceamento no controle do escoamento superficial no Sul do Brasil, verifica a eficiência dos terraços em eventos significativos de chuvas, semelhante ao que ocorreu no mês de dezembro na área da Bacia Hidrográfica da UTFPR, Campus Dois Vizinhos. Além de que na Figura 1, é visível a maior condição de umidade do solo na área com terraço, resultando na maximização da infiltração da água (Freitas *et al*., 2021).

CONCLUSÕES

Os valores mais altos de umidade foram encontrados nos pontos baixos da encosta, considerando os conjuntos de sensores. Já com relação as profundidades, houve significância apenas para a parcela sem terraço, a qual o maior valor de umidade esteve na profundidade de 0,5 m.

Os maiores valores de umidade encontrados, foram no mês de dezembro, associado ao maior acúmulo de chuvas (430,8 mm) dentre os meses avaliados. Os valores de umidade com relação a profundidade, foram maiores nas profundidades (0,3 m e 0,5 m) na parcela CT e na profundidade (0,5 m e 0,75 m) na ST, destacando a camada de 0,5 m para ambas as áreas. O uso dos terraços foi de suma importância para retenção do escoamento superficial e redistribuição da água no solo mantendo maior umidade na encosta desta lavoura, reafirmando a importância desta técnica de manejo do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) -Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio e pelas bolsas de pesquisa e pelos recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES C. A. STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M DE; SPAROVEK, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2014.

DENG, C.; ZHANG, G.; LIU, Y.; NIE, X.; LI, Z.; LIU, J.; ZHU, D.; Advantages and disadvantages of terracing: Acomprehensi vereview. **International Soiland Water Conservation Research,** v. 9, p. 344-359, 2021.

FREITAS, L. R.; GUBIANI, P. I.; MULAZZANI, R. P.; MINELLA, J. P. G.; LONDERO, A. L. Terracing increases soil available water to plants in no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.

HU, W.; SHAO, M.; HAN, F.; REICHERDT, K.; TAN, J. Watershed scale temporal stability of soil water content. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 181-198, 2010.

LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P. G. SCHNEIDER, F. J. A.; DEUSCHLE, D.; MENEZES, D.; EVRARD, O. BOENI, M; MERTEN, G. H. Quantifying the impacto f no-till on runoff in Southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydrological Processs**, v. 35, n. 3, 2021.

MANASSES, F. Estudo hidrogeológico da Formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64-65, p. 59-67, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T. ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018.

VIEIRA, F. M. C.; MACHADO, J. M. C.; VISMARA, E. de S.; POSSENTI, J. C. Distribuições de probabilidade para análise de frequência de chuva no sudoeste do Paraná. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 260–266, 2018.

WERLE, L. **Modelagem do efeito do terraceamento para controle do escoamento superficial numa bacia rural no Sul do Brasil.** 2024. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Santa Maria, 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INFLUÊNCIA DOS TERRAÇOS NA REDISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM LAVOURAS SOB PLANTIO DIRETO

Bruna Thalia Silveira Sabino[1*], Fabiana Luiza Matielo de Paula[2], André Pellegrini[3], Paula Raquel Reffatti[1], [4]Graziela Capelettii

[1]Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos *bruna.thalia18@hotmail.com [2]Pós-doutoranda, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos, [3]Professor do COENF, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos, [4]Estudante do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos terraços na redistribuição da água no perfil do solo em uma lavoura sob plantio direto com e sem terraço.O estudo aconteceu na Fazenda Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos (UTFPR-DV), em duas áreas de lavoura com 1,92ha cada, ambas sob plantio direto, uma área com terraço e outra sem. Para o monitoramento da umidade, foi utilizada a Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR).A umidade do solo e pluviosidade com dados da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) passaram por análise descritiva e foram plotados em gráfico de combinação.A maior variação no comportamento da umidade foi vista na camada de 0,1m tanto na área com terraço como na sem. Os maiores valores de umidade estiveram na área com terraço, provando a eficiência do uso de terraços para armazenar água e manter a umidade no perfil do solo.
PALAVRAS-CHAVE: umidade do solo; Nitossolo Vermelho; dinâmica da água no solo.

INTRODUÇÃO

A água é um dos fatores que mais influenciam no crescimento e produtividade das plantas (Simioni *et al*., 2024) e, está intimamente relacionada aos sistemas de manejo, tráfego de máquinas agrícolas e o pisoteio animal, que são fatores que podem comprometer a entrada e disponibilidade de água no solo (Kaiser, 2010).

De acordo com Zhan *et al*. (2004), as variações de umidade do solo produzem mudanças significativas que explicam a infiltração da água, além da energia da superfície do solo, despertando a necessidade em gerir adequadamente a umidade.

Uma importante alternativa para a manutenção da umidade no solo e sua maior retenção, é a utilização do manejo conservacionista, como é o caso do plantio direto (Gassen, 2010), podendo estar associado ao uso do terraceamento, criando maiores condições de umidade ao solo. Nesse contexto, manter a qualidade e, consequentemente, o bom funcionamento do solo depende do monitoramento e manejo dos mais diversos atributos que o qualificam (Santos *et al*., 2019), buscando o equilíbrio entre a produtividade agrícola e a conservação dos solos (Silva *et al*., 2011).

Sabendo da importância da umidade do solo e da necessidade do seu monitoramento para o desenvolvimento das culturas, o objetivo desde trabalho foi avaliar a influência dos terraços na redistribuição da água na encosta e perfil do solo em uma lavoura sob plantio direto com e sem terraço.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV), em duas áreas de lavoura com 1,92 ha cada, ambas sob plantio direto, uma área com terraço e outra sem terraço. A região em que o experimento foi desenvolvido se encontra no Terceiro Planalto, sobre rochas basálticas da formação Serra Geral (Manasses *et al*., 2011), Latitude 25°42’ S, Longitude 53°06’ O e Altitude de 509 m. O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al*., 2018).

O clima da região é classificado de acordo com a classificação climática de Köppen (Alvares *et al*., 2014) como Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida. A temperatura média nos meses mais quentes é acima de 22° C e nos meses mais frios abaixo de 18° C (Alvares *et al*., 2014). A precipitação média anual para o município de Dois Vizinhos é de 2010,60 mm (Vieira *et al*., 2018). O mês de outubro tem o maior volume precipitado (243 mm) e o mês de agosto com menor precipitação acumulada mensal (113 mm) (Vieira *et al*., 2018).

Para o monitoramento da umidade do solo, foi utilizada a técnica do FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência) na versão TEROS 10 da METER Group®, composto por um *Datalogger* modelo ZL6 Basic e seis sensores. Neste estudo, foram utilizados 2 *Dataloggers* e 4 sensores no total, sendo 1 *Dataloggers* instalado na parcela sem terraço e o outro na parcela com terraço na parte baixa da encosta, depois do último terraço e secção de monitoramento de erosão. Ambas as lavouras têm uma declividade média de 8,5% e 205 metros de rampa, com diferença que a lavoura com terraços possui quatro bases largas construídas em nível. Em cada parcela foram abertas 2 trincheiras e em cada uma delas, foram inseridos sensores em 2 profundidades diferentes ao longo do perfil do solo, as quais foram: 0,1m e 1,35m, após a inserção dos sensores, todo o solo foi acomodado novamente dentro da trincheira. As leituras foram monitoradas de 05 de outubro de 2024 até 05 de janeiro de 2025, com registros a cada hora, foi realizada a análise descritiva dos dados e estes foram plotados em um gráfico de combinação, bem como os dados de precipitação de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2, constam os dados da variação da umidade do solo em relação aos dias de monitoramento e a precipitação de ocorrência neste período, nas profundidades de 0,1 m e 1,35 m, respectivamente. Na camada superficial (0,1 m), observa-se que as variações foram maiores e imediatamente após a chuva. Além disso, em profundidade notou-se um retardo no aumento devido ao deslocamento da água no perfil, da mesma maneira, Freitas *et al*., (2021) estudando sobre o aumento da disponibilidade de água para as plantas em uma área com terraços, percebeu que a variação da umidade foi maior em direção a superfície do solo. Vale ressaltar que, a umidade do solo se manteve em alta durante o início do mês de dezembro, proporcionalmente ao aumento das precipitações neste mês (acumulado de 430,8 mm), principalmente na camada superficial, indo de encontro com o que Kaiser (2010) que verificou, que o aumento da umidade nas camadas do perfil do solo está intimamente associado a entrada da água da chuva e por sua redistribuição no perfil.

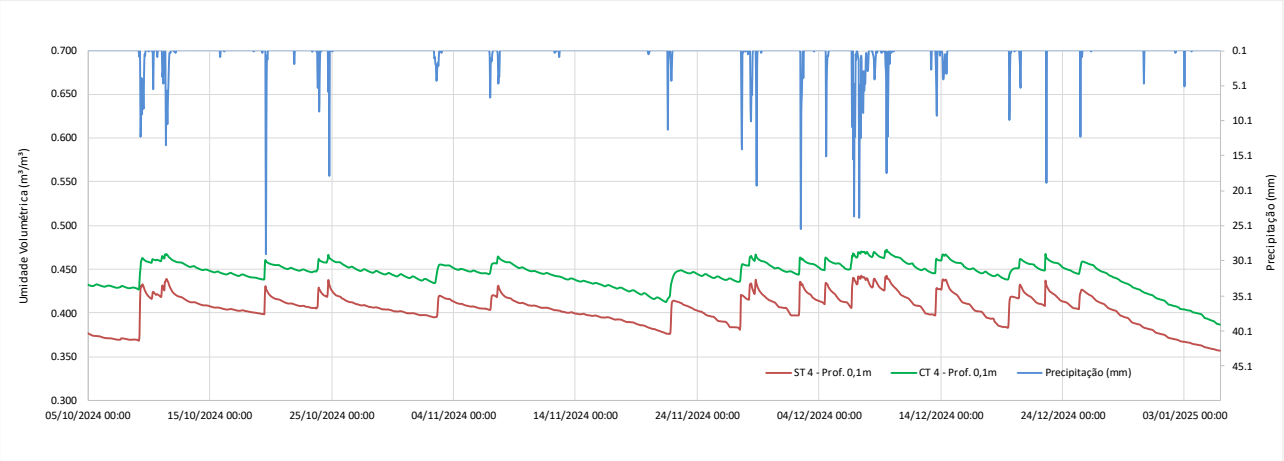


Figura 1. Variação da umidade do solo em uma área CT e ST na camada de 0,1 m.

Já para a camada mais profunda (1,35 m) do perfil do solo, o comportamento da umidade em profundidade só foi percebido quando houve grande volume de chuva, como apresentado na Figura 2. Durante o mês de novembro, a umidade se manteve estável para as duas áreas e as duas profundidades analisadas, consequência dos baixos volumes de chuva durante este mês. Já no mês de dezembro, embora tenha ocorrido um aumento da umidade do solo em profundidade tanto na ST como na CT, chegando em torno de 0,450 m^3m^{-3} e 0,500 m^3m^{-3} respectivamente, esta não se manteve com o tempo e a partir do dia 15/12 começou a haver uma resseção da umidade por falta de chuva, aumento da ETP e crescimento do soja. Diferente da camada de 0,1 m que houve uma variação de 0,390 m^3m^{-3} a 0,450 m^3m^{-3} na área ST e de 0,440 m^3m^3 a 0,470 na área CT que se manteve até o dia 24/12 do monitoramento.

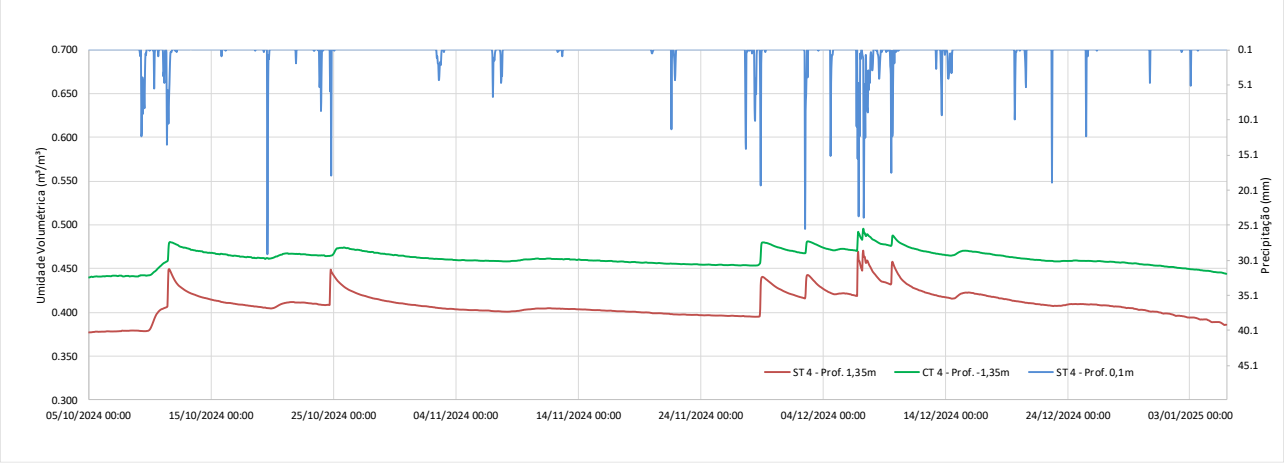


Figura 2. Variação da umidade do solo em uma área CT e ST na camada de 1,35 m.

De maneira geral, foi possível perceber que o comportamento da umidade do solo na camada mais superficial foi maior quando comparado à camada mais profunda, isto também foi observado e explicado por Cavalieri *et al*., (2009) que atribui esse comportamento a quantidade e distribuição de poros, pois sua maior continuidade em superfície e em plantio direto, concentra a umidade nestas camadas mais superficiais.

Com relação ao uso dos terraços, foi possível observar claramente a sua importância para a manutenção da água no solo, uma vez que durante todo o período, os maiores valores de umidade (na área CT na profundidade de 0,1 m os valores variaram de 0,390 m^3m^{-3} a 0,460 m^3m^{-3} e na área ST de 0,370 m^3m^{-3} a 0,440m^3m^{-3}; na área CT na profundidade de 1,35 m variaram 0,440 m^3m^{-3} a 0,490 m^3m^{-3} e 0,380 m^3m^{-3} a 0,460 m^3m^{-3} na área ST) se mantiveram na área com terraço, corroborando com o que foi visto por Freitas *et al*., (2021) sobre o aumento da umidade e, consequentemente, água disponível para as plantas em favor de áreas com terraços no plantio direto.

CONCLUSÕES

Os maiores valores de umidade se concentraram na área com terraço nas duas profundidades avaliadas (0,1 m e 1,35 m), reforçando a eficiência da técnica do terraceamento para armazenamento de água e manutenção da umidade no perfil do solo.

A variação do comportamento da umidade no solo foi mais aparente na camada de 0,1 m nas duas áreas avaliadas.

O aumento da precipitação durante o monitoramento, especialmente no mês de dezembro, ocasionou um efeito direto no aumento da umidade do solo em todas as camadas e profundidades avaliadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio e pelas bolsas de pesquisa e pelos recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES C. A. STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M DE; SPAROVEK, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2014.

CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; LEÃO, T. P.; DEXTER, A. R.; HAKANSSON, I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in Rhodic Ferralsol in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 158-164, 2009.

FREITAS, L. R.; GUBIANI, P. I.; MULAZZANI, R. P.; MINELLA, J. P. G.; LONDERO, AL. L. Terracing increases soil available water to plants in no-tillage. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 45, p. 1-15, 2021.

GASSEN, D. A adubação verde e o plantio direto. **Revista Plantio Direto**, 2010.

KAISER, D. R. **Estrutura e água em argissolo sob distintos preparos na cultura do milho.** 2010. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MANASSES, F. Estudo hidrogeológico da Formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64-65, p. 59-67, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, K. F.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WERNER, R. S.; WOLSCHICK, N. H.; MOTA, J. M. Teores e estoque de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no planalto sul de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 2, p. 222-229, 2019.

SILVA, E. F.; LOURENTI, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.

SIMIONI, G. H.; GARCIA, A. F. C.; FONSECA, Z. P.; FALATE, R. Avaliação de sensores de umidade de solo para sistemas de irrigação. **Revista Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 961-974, 2024.

VIEIRA, F. M. C.; MACHADO, J. M. C.; VISMARA, E. de S.; POSSENTI, J. C. Distribuições de probabilidade para análise de frequência de chuva no sudoeste do Paraná. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 260–266, 2018.

ZHAN, Z.; QIN, Q.; WANG, X. The application of LST/NDVI index for monitoring land surface moisture in semiarid área. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 3, p. 1551-1554, 2004.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EVENTOS DE CHUVA-VAZÃO EM ÁREAS SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRACEAMENTE AGRÍCOLA

Jonatha Julio Cancelier [1*], Alinne Bisolo[2], Fabiana Luiza Matielo de Paula[3], Miriam Fernanda Rodrigues[4], André Pellegrini[5]

[1] Eng. Agr. Bolsista de Apoio Técnico nível superior, *jonathacancelier@alunos.utfpr.edu.br, [2] Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *campus* Dois Vizinhos, [3]Pós-doutoranda, UTFPR *campus* Dois Vizinhos, [4] Professora pesquisadora, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, RS, [5] Professor do Curso de Engenharia Florestal, UTFPR *campus* Dois Vizinhos.

RESUMO

O uso de terraços agrícolas tem como benefícios o aumento da infiltração da água no solo, reduzindo as perdas por erosão hídrica. Objetivou-se quantificar as perdas de água por escoamento superficial em lavoura sob sistema plantio direto com terraços (CT) e sem terraços (ST) agrícolas. O estudo foi conduzido em uma área de Nitossolo Vermelho, sob plantio direto desde 1997, na fazenda experimental da UTFPR-DV. As variáveis monitoradas foram precipitação (mm) e a vazão (L s^{-1}). O escoamento superficial na CT foi menor do que na ST, pois os terraços dividem o comprimento da encosta e reduzindo a velocidade e o volume do escoamento superficial. Na ST, em resposta ao alto volume precipitado, houve aumento da lâmina de escoamento. Os terraços reduziram em 60,7% as perdas de água por escoamento superficial em comparação ao sistema de plantio sem terraços.

PALAVRAS-CHAVE: escoamento superficial, vazão, conservação do solo

INTRODUÇÃO

O solo manejado sob plantio direto tem como premissa a manutenção da palhada sobre a superfície do solo, o que reduz o impacto da gota de chuva e a velocidade de escoamento, aumenta a fertilidade do solo e a atividade biológica, levando ao aumento da porosidade. Contudo, a intensificação dos cultivos agrícolas, associados a baixa rotação de culturas, levam ao aumento da compactação. Com isso, a cobertura do solo não é suficiente para controlar o escoamento superficial.

Dentre práticas conservacionistas complementares estão uso de terraços agrícolas, que contribuem para o aumento da infiltração da água no solo, com a redução das perdas de água por erosão e escoamento superficial. O terraceamento agrícola reduz o comprimento de rampa, o que proporciona diminuição na velocidade do escoamento superficial e no transporte de sedimentos (Deng *et al*., 2021).

Os terraços associados ao manejo do solo com sistema plantio direto contribuem para o controle da erosão hídrica, uma vez que diminuem o escoamento superficial. Embora pareça uma prática nova, o uso do plantio direto associado ao uso dos terraços já proporcionou uma redução de 70% da erosão no Paraná, isso no final do século XX (Michelon, Reydon e Chicati, 2014). Além de reduzir a erosão e as perdas de água, os terraços em lavouras de plantio direto aumentam a retenção e disponibilidade de água no solo, principalmente em períodos de menor precipitação pluvial (Hörbe *et al*., 2021).

Contudo, as informações sobre os efeitos da presença ou da ausência de terraços em áreas conduzidas sob plantio direto sobre as perdas de água ainda são incipientes, principalmente frente a ocorrência de eventos de alta magnitude.

Assim, faz-se necessário compreender e quantificar os efeitos do uso do terraceamento nas respostas hidrológicas nas lavouras, principalmente com aumento de eventos extremos de precipitação pluvial.

O objetivo, com este estudo, foi avaliar o efeito da prática de terraceamento em áreas de Nitossolo Vermelho sob plantio direto sobre as perdas de água, na região Sudoeste do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em duas áreas, uma com terraços (CT) e outra sem terraços (ST), na fazenda experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Dois Vizinhos (UTFPR-DV), em Dois Vizinhos, região Sudoeste do Paraná. A área está localizada no Terceiro Planalto, sobre rochas basálticas da formação Serra Geral, entre as coordenadas geográficas 25°42'3" de latitude Sul e 53°5'57" de longitude Oeste e 510 metros de elevação.

A precipitação média anual para o município de Dois Vizinhos é de 2.010,60 mm (Vieira *et al*., 2018). O mês de outubro tem o maior volume precipitado (243 mm) e o mês de agosto tem menor precipitação pluvial acumulada mensal (113 mm) (Vieira *et al*., 2018). A erosividade média anual da chuva no município de Dois Vizinhos é de 11.864 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} (Waltrick *et al*., 2015).

O solo da área de estudo é classificado como Nitossolo Vermelho (Cabreira, 2015), de textura muito argilosa e com teores médios de 0,70 kg kg^{-1} de argila, de 0,28 kg kg^{-1} de silte e de 0,02 kg kg^{-1} de areia na camada de 0.00-0.40 m.

As áreas do estudo possuem 1,923 ha cada, sendo o perímetro delimitado por camalhões em todo seu entorno e na divisão das áreas para evitar a perda de água sob a área delimitada do experimento. A área com terraços agrícolas (CT) possui declividade média de 8,98% e a área onde os terraços foram retirados (ST) possui declividade média de 8,62% na ST.

A avaliação do comportamento hidrológico da CT e da ST foi realizado por meio do monitoramento da precipitação pluvial e da vazão, em seções de monitoramento. Essas seções de monitoramento são compostas por calhas do tipo H instaladas no exutório de cada área, sendo uma calha de 1 pé instalada no exutório da CT e uma calha de 2 pés instalada no exutório da ST.

O monitoramento da precipitação pluvial foi realizado por meio de um pluviógrafo instalado entre as duas áreas, próximo às seções de monitoramento, e de três pluviômetros padrão Ville de Paris instalados distribuídos próximo às áreas.

O monitoramento do nível da água escoada na CT e na ST, para cálculo da vazão, foi realizado durante os eventos de chuva-vazão por meio de leituras diretas da lâmina de água em uma régua linimétrica instalada junto às calhas tipo H. A vazão foi calculada com base no nível da água medido e da equação de cada calha.

As variáveis hidrológicas dos três principais eventos que geraram escoamento superficial nos anos de 2022 e 2023 foram utilizados para elaborar o hietograma e o hidrograma e para obter as variáveis características da chuva e de escoamento superficial (volume total do evento (V – m^3); coeficiente de escoamento superficial (C - %); vazão máxima (Qmax – L s^{-1}) e vazão média (Qmed – L s^{-1}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de monitoramento, os meses com maior volume de chuva acumulada foram outubro de 2022, com 516,4 mm e outubro e novembro de 2023, com 631,8 e 309,6 mm, respectivamente. O mês de outubro de 2022 teve a ocorrência de eventos consecutivos de precipitação pluvial com geração de escoamentos. Durante o dia 10/10/2022 as chuvas se intensificaram e no dia 11/10/2022 geraram escoamento em ambas as áreas (Tabela 1).

O escoamento superficial ocorrido em 11/10/2022 gerou um maior volume total escoado de 43,54 m^3 na CT e 163,77 m^3 de água na ST e teve duração de 3 horas. O volume total escoado foi 120,23 m^3 menor na CT, em comparação com a ST, devido ao efeito dos terraços de aumentar o tempo de permanência da água nas áreas e, com isso, de reduzir a velocidade e o volume do escoamento. Os terraços favorecem a infiltração e geram o incremento no volume de água no solo (Silva e Rios, 2020).

Tabela 1. Variáveis hidrológicas dos principais eventos que geraram escoamento superficial nos anos de 2022 e 2023, nas áreas com (CT) e sem terraços (ST), na UTFPR *campus* Dois Vizinhos, Sudoeste do Paraná, Sul do Brasil.

Evento	Mega	P (mm)	V (m³)	C (%)	$Q_{máx}$ (L s^{-1})	$Q_{méd}$ (L s^{-1})
11/10/2022	CT	56,8	43,54	3,98	26,05	5,09
	ST	56,8	163,77	14,99	72,55	16,60
28 e 29/10/2023	CT	296,0	140,14	2,462	14,46	2,86
	ST	296,0	344,83	6,058	34,93	7,42
03/11/2023	CT	146,4	179,96	6,391	78,33	15,75
	ST	146,4	339,94	12,07	127,67	36,54
Total	CT	499,2	363,64	-	-	-
	ST	499,2	848,54	-	-	-

Abreviações**:** V: volume total escoado (m³); L: lâmina total do evento (mm); C: coeficiente de escoamento (%); $Q_{máx}$: vazão máxima do evento (L s^{-1}); $Q_{méd}$: vazão média do evento (L s^{-1}); não determinado (-).

O evento precipitação pluvial ocorrido em 28 e 29/10/ 2023 teve o maior volume precipitado de todo o período de monitoramento até o ano de 2023 com 296,0 mm. Esse evento teve duração de 20 horas. O evento de chuva teve o maior índice de Erosividade calculado para os eventos monitorados, sendo de 191,268 MJ mm ha^{-1} h^{-1}. sendo a região Sudoeste por apresentar um alto valor de erosividade média anual de 11.864 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} em Dois Vizinhos-PR (Waltrik *et al*., 2015). A vazão teve um comportamento similar ao longo do tempo do evento nas duas áreas (CT e ST), com a formação de vários picos. O volume de água escoado no evento de 28 e 29/10/ 2023 foi de 140,14 m³ na CT e de 344,83 m³ na ST (Tabela 1). O escoamento superficial nas áreas CT e ST foi contínuo, mesmo com a descontinuidade da chuva desse evento, que ocorreu em intervalos de duas horas sem chuva no final da tarde e de 50 minutos na noite do dia 28/10/2023. A continuidade do escoamento superficial em períodos de ausência de precipitação pluvial ocorre devido à alta lâmina de escoamento formada pela chuva e a baixa capacidade dessa água infiltrar no solo (Pruski, 2009), uma vez que a área estava em condição próxima da saturação em decorrência das sucessivas chuvas ocorridas em outubro de 2023.

O evento de precipitação pluvial ocorrido em 03/11/2023 foi de 146,4 mm, com duração de 1h 30 min. Esse evento proporcionou escoamento superficial com alto volume escoado (179,96 m³ na CT e 339,94 m³ na ST). Esse foi o evento com maior volume de água escoado, com coeficiente de escoamento de 6,39% na CT e de 12,07% na ST, vazão média de 15,75 L s^{-1} na CT e de 36,54 L s^{-1} na ST e vazão máxima de 78,33 L s^{-1} na CT e de 127,67 L s^{-1} na ST (Tabela 1).

A maioria dos eventos monitorados teve a vazão máxima após o pico de chuva. Esse comportamento de diminuição da chuva e aumento da lâmina de escoamento pode estar relacionado ao tempo que o escoamento formado em locais mais distantes do comprimento de rampa leva para chegar até a seção de monitoramento (Minella e Merten, 2012).

A presença de terraços agrícolas na lavoura sob plantio direto teve eficiência no controle e na redução do escoamento superficial. O sistema plantio direto com terraços proporcionou uma redução de 60,7% nas perdas de água por escoamento superficial.

Os terraços foram eficientes no controle e na redução do escoamento superficial em eventos precipitação pluvial de alta magnitude. Esses eventos de alta magnitude representaram a maior fração da água perdida pelo escoamento superficial do total dos eventos pluviais monitorados, o que reafirma a

necessidade de práticas conservacionistas complementares, como o terraceamento, no controle das perdas de água por escoamento superficial.

CONCLUSÕES

Os terraços foram eficientes no controle do escoamento superficial em área sob plantio direto em Nitossolo Vermelho e relevo ondulado e na Região Sudoeste do Paraná.

Os eventos de alta magnitude representaram a maior fração da água perdida pelo escoamento superficial do total dos eventos pluviais monitorados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) -Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio e pelas bolsas de pesquisa e pelos recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

BARBOSA, G. M. C. *et al*. Monitoramento hidrossedimentométrico em megaparcelas experimentais. *In:* PELLEGRINI, A.; BARBOSA, M. C. (ed.) **Manejo e conservação de solo e água**: volume 1 – formação, implantação e metodologias. Rede paranaense de agropesquisa e formação aplicada. 1 ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. Cap. 5, 155 - 186. *E-book.*

CABREIRA, M. A. F. **Levantamento de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2015

DENG, C.; ZHANG, G.; LIU, Y.; NIE, X.; LI, Z.; LIU, J.; ZHU, D.; **Advantages and disadvantages of terracing: Acomprehensi vereview**. International Soiland Water Conservation Research, v. 9, p. 344-359, 2021.

HÖRBE, T. *et al*. **Managing runoff in rainfed agriculture under no-till system: potential for improving crop production**. Revista brasileira de ciência do solo, v. 45, 2021.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G.; BARBOSA, G. M. C. Uso de terraços para o controle do escoamento superficial. *In:* PELLEGRINI, A.; BARBOSA, M. C. (ed.) **Manejo e conservação de solo e água**: volume 1 – formação, implantação e metodologias. Rede paranaense de agropesquisa e formação aplicada. 1 ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. Cap. 3, 49 - 86. *E-book.*

MICHELON, E.; REYDON, B. P.; CHICATI, M.L. **Impacto econômico do manejo de solo e água em microbacias hidrográficas paranaenses.** Revista Agropecuária Técnica, v. 35, p.54-61, 2014.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. **Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1575-1582, 2012.

PASINI, F. *et al*. Sistema de terraceamento para manejo agrícola. **Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 76, 2017.

SILVA, A. J. P. DA; RIOS, M. L. Terracing recovers the quality of a riverbank soil degraded by water erosion in Brazilian semiarid. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, 2020.

VIEIRA, F. M. C. *et al*. Distribuições de probabilidade para análise de frequência de chuva no sudoeste do Paraná. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 260–266, 2018.

WALTRICK, P. C. *et al*. **Estimativa da Erosividade de chuvas no Estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 39, p. 256-267, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

A EXPANSÃO AGRÍCOLA NAS DIFERENTES CLASSES TEXTURAIS DO SOLO BRASILEIRO

Ana Caroline Pretto[1*], Marcos Vinícius Souza Cardoso[2], Alessandro Samuel-Rosa[3], Taciara Zborowski Horst[3]
[1] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *pretto.anacaroline@gmail.com. [2] Mestrando na Universidade Federal de Goiânia. [3] Professor(a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

A expansão da agropecuária no Brasil, especialmente em áreas com diferentes texturas de solo, levanta preocupações ambientais. Este estudo analisou essa expansão em relação às classes texturais do solo, utilizando dados do MapBiomas Uso e Cobertura da Terra e Textura do Solo (1985-2023). O cruzamento dos dados foi realizado no Google Earth Engine (GEE), calculando estatísticas de área das classes texturais com as de uso e cobertura. Os resultados indicaram aumento da agropecuária em solos arenosos e médios, além da expansão da soja em todas as classes texturais. Houve conversão de áreas florestais em agrícolas, com a área agrícola em solos de textura média aumentando de 8% para 20% e a área de soja nesses solos crescendo de 15% para 63%. Conclui-se que a agropecuária se expandiu em solos de textura média e arenosa, impulsionada por usos como pastagem e produção de soja.

PALAVRAS-CHAVE: expansão agrícola; textura do solo; MapBiomas; soja; agropecuária.

INTRODUÇÃO

A agropecuária brasileira passou por transformações significativas, impulsionada pela busca por novas áreas de produção, alavancou a adaptação do sistema agrícola em diferentes classes texturais do solo. Inicialmente concentrada no Sul, a produção avançou para a Amazônia (PA, AM) e Cerrado na fronteira agrícola do MATOPIBA (MA, TO, PI, BA) a qual teve uma grande expansão agrícola a partir da metade dos anos 1980. (GASQUES, BOTELHO e BASTOS, 2015). As áreas convertidas estão distribuídas em diferentes classes texturais, e, quando não manejadas corretamente, resultam em discussões como a grande concentração de pastagens degradadas. A textura do solo impacta diretamente suas propriedades físicas e químicas, afetando a retenção de água, a capacidade de troca catiônica (CTC) e o teor de matéria orgânica. Solos arenosos, por exemplo, apresentam menor capacidade de retenção de água e nutrientes em comparação aos argilosos, tornando-se mais vulneráveis a eventos climáticos extremos, como períodos prolongados de déficit hídrico (REICHERT; VOGELMANN, 2023). Consequência disso, em 2008, as frações do solo foram incluídas como um dos critérios no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) do Brasil (BRASIL, 2008). Nesta instrução normativa a textura do solo é classificada em chamados Tipos, sendo, de textura arenosa, média e argilosa os quais também são considerados para o crédito agrícola.

Dessa forma, os avanços tecnológicos têm sido determinantes para a expansão agrícola em territórios antes considerados de menor potencial produtivo. A crescente demanda por grãos, alavanca a expansão, as inovações e o melhoramento genético de muitas culturas, como a Soja que no Brasil, cresceu de 4 (1985) para 40 milhões de hectares (2023) (MAPBIOMAS, 2024). Compreender essa dinâmica é essencial para evitar a degradação ambiental, direcionar esforços de pesquisa e formular políticas públicas que promovam o uso sustentável da terra, equilibrando a produtividade com a conservação dos recursos naturais (PEREIRA; DE CASTRO, 2022). Nesse contexto, ferramentas de monitoramento são fundamentais para avaliar o impacto da expansão agrícola sobre diferentes tipos de solo.

O MapBiomas, uma rede colaborativa que disponibiliza anualmente informações sobre Uso e Cobertura da Terra, e o recente MapBiomas Solo, com o Mapa de Textura do Solo Brasileiro, permitem analisar a relação entre a agricultura e as classes texturais do solo. A ocupação agropecuária de um bioma depende de fatores como localização e textura do solo.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

Este trabalho avalia como a expansão agrícola no Brasil ocorreu sob a perspectiva das classes texturais do solo, usando dados do MapBiomas. Buscando confirmar o avanço sobre solos de textura média e arenosa, quantificar essas áreas e identificar seus usos após conversão, fornecendo dados para o planejamento e manejo sustentável do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreendeu o território do Brasil, onde estão inseridos seis biomas: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa; com uma área total de 8,5 mi km². Os mapas temáticos utilizados são disponibilizados pela iniciativa MapBiomas (Figura 1), integrando o uso e cobertura da terra (Coleção 9) (MAPBIOMAS, 2024a) e textura do solo (Coleção 2 Beta) (MAPBIOMAS, 2024b). Ambos possuem resolução espacial de 30 m. A resolução temporal do uso e cobertura é anual (1985–2023), enquanto a textura usa um "ano nominal" (e.g., 1990), consolidando dados de campo de 1958–2023.

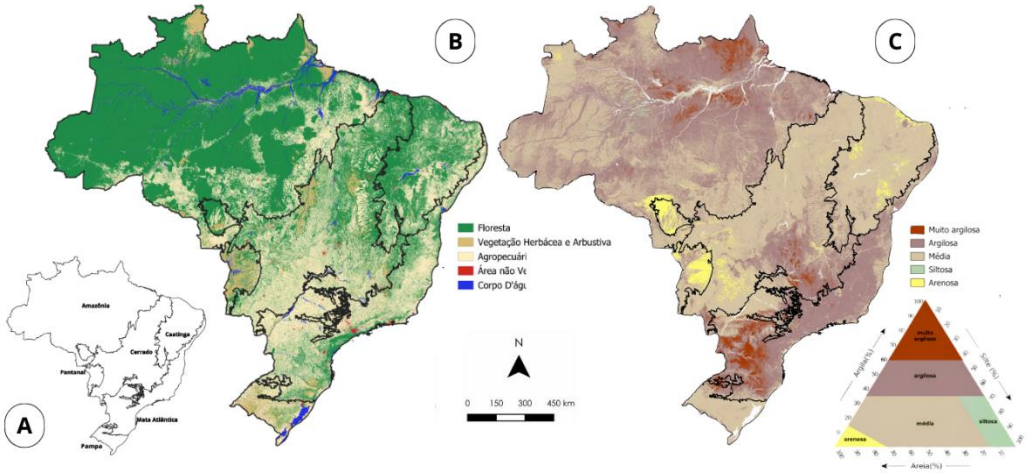


Figura 1. Mapas Temáticos: (A) Mapa dos biomas brasileiros; (B) Mapa de uso e cobertura da terra de 2023 MapBiomas coleção 9; (C) Mapa de textura do solo MapBiomas solo coleção 2.

A classificação de uso e cobertura da terra segue um sistema hierárquico de quatro níveis. Nível 1 inclui seis classes: 1) Floresta, 2) Vegetação herbácea/arbustiva, 3) Agropecuária, 4) Área não vegetada, 5) Corpo D'Água, 6) Não Observado. Nível 2 desdobra-se em 16 classes, com Agricultura (3.2) subdividida até o Nível 4, totalizando nove classes. A textura do solo oferece cinco classes, sendo elas: Muito argilosa, argilosa, média, siltosa e arenosa, baseada no grupamento textural de Santos *et al*. (2015) e IBGE (2007).

Ambos os mapas estão disponíveis na plataforma MapBiomas. O cruzamento dos dados foi realizado no Google Earth Engine (GEE), calculando estatísticas de área das classes texturais do solo combinadas com classes de uso e cobertura. O procedimento incluiu: (1) carregamento dos dados de textura do solo para a camada de 0–30 cm classificada em 5 classes texturais; (2) importação dos dados de uso e cobertura da Coleção 9, excluindo a classe "Água"; (3) integração das imagens em uma única camada raster; (4) cálculo de áreas em hectares para cada combinação de classe textural e cobertura; (5) análise e recorte das mudanças temporais da agropecuária em relação à textura do solo (1985–2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 1985, a classe Muito Argilosa estava majoritariamente ocupada por floresta (56%), com a agropecuária (agricultura e pastagem) representando 38% da área, sendo destes 58% dedicada à agricultura e 41% à pastagem (Figura 2). Ao longo das últimas décadas houve um aumento da agropecuária de 40% para

47%, especialmente a agricultura, que saltou de 44% para 65%, grande parte desse aumento na agricultura é destinado à expansão de culturas como da soja, passando de 35% para 85% da área (Figura 3). Enquanto a pastagem foi reduzida de 31% para 16%, mostrando a realocação para outras áreas e texturas.

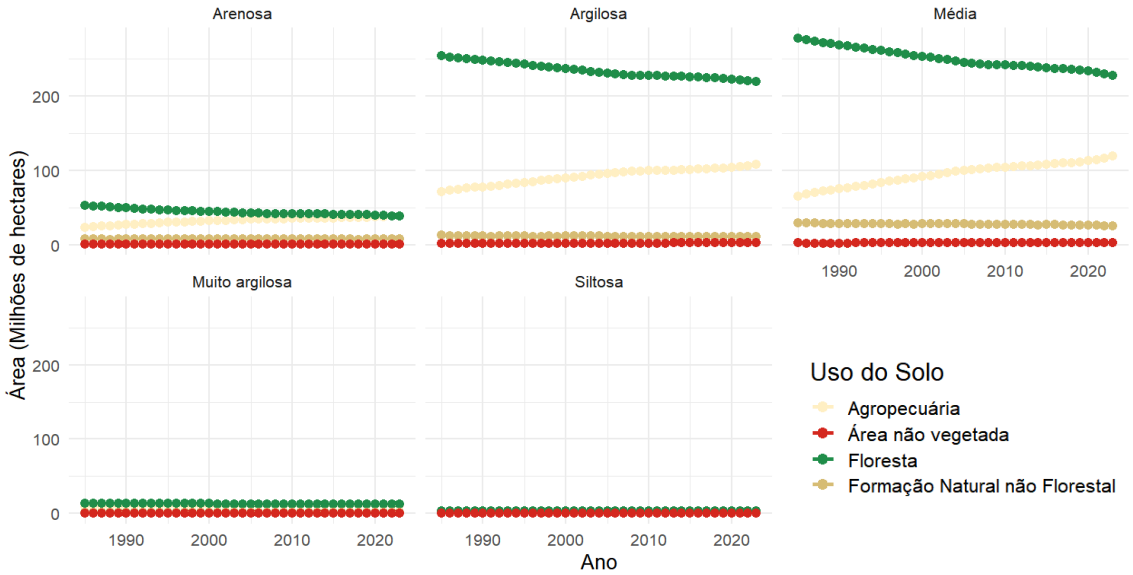


Figura 2. A expansão da Agropecuária em cada classe textural do solo (1985-2023).

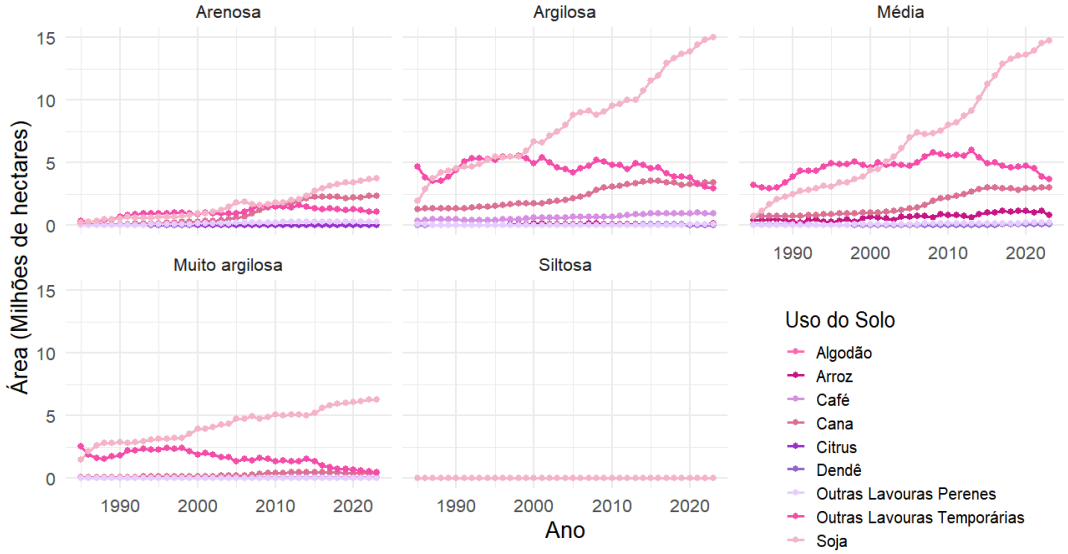


Figura 3. A expansão das culturas perenes e temporárias em cada classe textural do solo (1985-2023).

A classe Argilosa, em 1985, era dominada por floresta (74%), a agropecuária ocupava 21% da área. Dentro da agropecuária, 12% estava destinado à agricultura e 58% à pastagem. Em 2023, a agropecuária cresceu consideravelmente, com a agricultura aumentando de 16% para 21%. O crescimento da agricultura nessa classe é acompanhado por um aumento significativo na área ocupada por soja, que passou de 23% para 65% da área agrícola. Na classe Siltosa, em 1985, a área era quase totalmente ocupada por floresta (93%), com uma pequena parcela dedicada à agropecuária (0,4%) com Agricultura (10%) e pastagem (70%). Em 2023, embora a floresta continuasse predominante (92%), houve uma redução da agricultura, que passou de 10% para 4%. Apesar dessa redução, a soja expandiu de 4% para 25% da área destinada à agricultura.

Na classe Arenosa, em 1985, 63% detinha cobertura florestal, uma redução de 18% para 2023. Com um aumento da agropecuária de 18% mostrando a conversão das áreas arenosas para esse uso do solo. Essa conversão é principalmente para Agricultura, a qual cresceu de 3% (1985) para 20% da área Agropecuária em 2023, o que também é visualizado pelo crescimento de 30% da área de soja nessa classe. O que reflete uma intensificação da monocultura de soja, mesmo em solos arenosos, que são tradicionalmente menos usados para cultivos intensivos. Ao analisar a textura Média, observa-se uma forte predominância da área de floresta 74% em 1985. Ao longo do período analisado, é possível observar diminuição da área florestal para 61% e um aumento da agropecuária para 31%. A área de agricultura subiu de 8% para 20%. A soja, dentro da área agrícola, também apresentou crescimento expressivo, passando de 15% para 63%. Do mesmo modo, a área de pastagem foi de 50% para 63%.

Solos de textura fina, como os argilosos, são preferidos para grãos por reterem mais água e nutrientes, oferecendo condições ideais para o cultivo. Já as classes texturais “Média” e "Arenosa", mantinham-se com uma retenção maior da sua vegetação natural. Regiões como do MATOPIBA concentram majoritariamente solos de textura Média a Arenosos e desde 1985 obtiveram uma expansão agropecuária de 92% até o ano de 2023, viabilizado por tecnologias como irrigação e correção de solo, que superaram as limitações de fertilidade e capacidade de retenção de água.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, a hipótese foi confirmada, pois houve uma expansão significativa da agropecuária sobre solos de textura média e arenosa desde 1985. A conversão dessas áreas para uso agrícola foi impulsionada principalmente pela pastagem e por culturas como a soja que se tornou predominante mesmo em solos com menor capacidade de retenção de água e nutrientes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Fundação Agrisus, Instituto Serrapilheira e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. A autora principal agradece em especial à Fundação Agrisus pela bolsa de iniciação científica.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa SPA nº2 de 09/10/2008. Brasília: MAPA; 2008.

MAPBIOMAS. **Annual mapping of soil organic carbon stock in Brazil 1985-2023** (collection 2). MapBiomas Data, 2024b. Disponível em: https://doi.org/10.58053/MapBiomas/LVGKT2. Acesso em: 01 mar. 2025

MAPBIOMAS. “Projeto MapBiomas – **Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. MapBiomas Data, 2024a. Disponível em: https://doi.org/10.58053. Acesso em: 01 mar. 2025

GASQUES, J. G.; BOTELHO, F.; BASTOS, E. T. Land prices and their appreciation. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**/Assessoria de Gestão Estratégica, Brasília, 2015. Disponível em: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3180963. Acesso em: 8 mar. 2025.

PEREIRA, C. N.; DE CASTRO, C. N. **Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de produção, aumento de produtividade e o desnível tecnológico no meio rural**. [s.l.], 2022. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/265284>. Acesso em: 9 mar. 2025.

REICHERT, J. M.; VOGELMANN, E. S. **Breve história da Física do Solo**. *In:* ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; GUBIANI, Paulo Ivonir (Eds.). Física do Solo. 1. ed. Santa Maria - RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2023. p. 19-35.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO ARGILOSO SOB CONDIÇÃO DE CHUVA SIMULADA

Heverton Fernando Melo[1*], Fabrício Tondello Barbosa[2], Eduardo Augusto Agnellos Barbosa[2], Neyde Fabíola Balarezo Giarola[2], Gustavo Felipe Ribeiro Melo[3]

[1]Pesquisador de Pós-doutorado; [2]Professor; [3]Estudante de Graduação; Universidade Estadual de Ponta Grossa.
*hevertonfernando@gmail.com

RESUMO

A erodibilidade indica a suscetibilidade intrínseca do solo ao processo erosivo, representada pelo fator K na Equação Universal de Perda de Solo (USLE). No entanto, devido sua base ser empírica requer pesquisas locais para obtenção dos componentes do modelo, sendo a escassez de dados uma das limitações da USLE no Brasil. Ante o exposto, objetivou-se determinar a erodibilidade de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, localizado na região Centro-Oriental do estado do Paraná, sob condição de chuva simulada. O experimento foi conduzido no município de Ponta Grossa/PR entre os anos de 2021 e 2023, onde foram realizados doze eventos de chuva simulada sobre o solo mantido sem cultivo, descoberto e preparado com arado e grade no sentido do declive. As chuvas, com duração de 1,5 h e intensidades variando de 75,5 a 105,9 mm h^{-1}, foram aplicadas por meio de um aparelho simulador de chuvas. Durante o escoamento superficial foram amostradas a vazão e a concentração de sedimentos no fluxo para determinação das perdas de solo. O fator K foi obtido pelo quociente entre a perda de solo e a erosividade das chuvas aplicadas, resultando em um valor médio de 0,0230 ± 0,0041 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}, considerando intervalo de confiança de 95%.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo, erosão hídrica pluvial, USLE, fator K.

INTRODUÇÃO

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) é uma ferramenta no planejamento conservacionista de áreas cultivadas, pois o modelo estima a erosão hídrica em função dos fatores que a influenciam (Wischmeier e Smith, 1978). Dentre estes, a erodibilidade (K) expressa a suscetibilidade intrínseca do solo ao desprendimento e transporte pelo processo erosivo (Renard *et al*., 1997; Wang *et al.,* 2016), sendo uma propriedade inerente ao solo resultante da interação de suas características físicas, químicas e mineralógicas, e basicamente expressa a perda de solo de uma área sem cobertura e vegetação para cada unidade de índice de erosividade da chuva (Wischmeier e Smith, 1978).

A erodibilidade pode ser determinada pelo método direto, por meio de avaliações em parcelas experimentais a campo, ou por métodos indiretos, a partir de equações que estimam K com base em atributos do solo (Silva *et al.,* 2016). No método direto, a valor de K é obtido a partir da quantificação das perdas de solo em parcelas experimentais padronizadas, com comprimento de 22,1 m, declividade de 9%, sem cobertura vegetal e preparada no sentido do declive. Para melhor representatividade, deve-se conduzir e avaliar experimentos a campo por longos períodos (15 a 20 anos); todavia, o uso de simuladores de chuva pode reduzir significativamente esse tempo, sendo geralmente aplicado em parcelas com 11 m de comprimento (Back, 2023; Wischmeier e Smith, 1978).

Uma limitação da USLE no Brasil é a falta de base de dados da determinação direta da erodibilidade em solos locais. Nesse contexto, pesquisas utilizando simuladores de chuva para determinar os principais componentes do modelo tem sido de fundamental importância nos diferentes locais, uma vez que possibilitam a coleta de dados em menor tempo e com maior controle sobre variáveis como tipo de solo, padrões de precipitação e a topografia (Amaral *et al.,* 2008).

Ante o exposto, o estudo objetivou determinar a erodibilidade de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, localizado na região Centro-Oriental do estado do Paraná, sob condição de chuva simulada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob chuva simulada em área experimental na Fazenda Escola "Capão da Onça", da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), situada na região dos Campos Gerais, PR. O solo é um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, com teores médios de 438, 140 e 422 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente, na camada de 0-0,2 m.

O experimento foi implantado sobre uma área com histórico de cultivo, onde as parcelas foram instaladas em dezembro de 2019. Foi implementado o tratamento de solo sem cultivo e mantido permanentemente descoberto, preparado com arado e grade niveladora, com três repetições. As unidades experimentais tinham dimensões de 3,5 x 11 m, orientadas em seu comprimento no sentido do declive, conforme recomendado para estudos de erosão com simuladores de chuva (Merten *et al*., 2016). A declividade média das parcelas sem vegetação era de 0,157 m m^{-1}.

O solo era preparado duas vezes por ano (outono-inverno e primavera-verão), com uma aração na profundidade de 0,20 m, usando arado de discos, seguida de gradagem na profundidade de 0,15 m, utilizando grade de discos destorroadora. Além disso, a superfície do solo era mantida livre de vegetação e de crosta superficial, por meio de capinas manuais, realizadas sempre quando necessário. O manejo descrito e adotado seguiu o estabelecido por Wischmeier e Smith (1978) para determinação da erodibilidade do solo.

Para realização das chuvas, que tiveram início vinte e um meses após a instalação do experimento, foi utilizado um aparelho simulador de chuva de braços rotativos do tipo empuxo (Bertol *et al*., 2012). Ao todo foram realizados 12 eventos de chuva simulada, entre setembro de 2021 e junho de 2023. Cada evento teve duração de 1,5 h, com intensidade de chuva (I) planejada de 80 mm h^{-1} e lâmina total (Q) de 120 mm para os seis primeiros eventos, realizados entre 03/09/2021 e 21/04/2022. Já para os seis eventos subsequentes, realizados entre 26/07/2022 e 06/04/2023, a I foi planejada para 100 mm h^{-1} e Q de 150 mm. Devido às variações na pressão para condução da água no simulador, foram instalados 20 pluviômetros na área para determinar a intensidade e a altura real das chuvas.

Durante as chuvas foi realizada a amostragem do fluxo a partir do momento em que se iniciava o escoamento superficial. As amostras foram coletadas em intervalos regulares a cada cinco minutos, onde media-se a vazão anotando-se o tempo necessário para o preenchimento de um balde graduado com capacidade de 13 L e, na sequência, coletavam-se amostras do fluxo em potes de 0,7 L para posterior determinação da concentração de sedimentos e das perdas de solo em laboratório. O fator K foi obtido pelo quociente entre a perda de solo ajustada das parcelas descobertas e a erosividade das chuvas (EI_{30}), calculado conforme Meyer (1958). Os dados foram analisados por meio da média, desvio padrão, coeficiente de variação e os limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fator erodibilidade do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) argiloso variou no período estudado, com média de 0,0230 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}, intervalo de confiança de 0,0041 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} e desvio padrão de 0,0073 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} (Tabela 1). O menor valor do fator K ocorreu na primeira chuva (0,0107 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}), aplicada em setembro de 2021, enquanto o maior valor ocorreu na 11ª chuva (0,0335 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}), aplicada em abril de 2023, representando uma diferença de aproximadamente três vezes entre elas.

A diferença entre o fator K nas chuvas de número 1 e 11 é explicado devido ao fato de que antes da realização do evento número 1 de chuva simulada foi realizado o preparo do solo com aração seguida de gradagem, o que refletiu em uma maior eficiência na infiltração da água da chuva em decorrência da mobilização mecânica. Com isso, registrou-se neste evento menores perdas de solo (PS) devido ao escoamento superficial ter sido de menor magnitude. Os eventos de chuva de números 4, 7 e 10 também ocorreram após o preparo de solo e resultaram, no geral, em menores valores de erodibilidade.

Tabela 1. Número da chuva, época, intensidade (I), altura (Q), erosividade das chuvas (EI_{30}), perda de solo (PS) ajustada para comprimento de rampa de 22,1 m e declividade de 0,09 m m^{-1} e fator erodibilidade (fator K) de um LVd argiloso. Ponta Grossa, 2025.

Chuva	Época	I	Q	EI_{30}	PS	Fator K
N°		mm h^{-1}	mm	MJ mm ha^{-1} h^{-1}	Mg ha^{-1}	Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}
1	Inverno 2021	82,08	123,14	2107,08	22,16	0,0107
2	Primavera 2021	75,47	113,22	1782,48	45,01	0,0256
3	Primavera 2021	86,50	129,76	2344,23	49,86	0,0217
4	Verão 2022	81,81	122,72	2093,91	35,84	0,0170
5	Verão 2022	81,31	121,97	2067,28	67,94	0,0331
6	Outono 2022	85,14	127,72	2277,14	57,35	0,0252
7	Inverno 2022	97,76	146,64	2989,54	58,70	0,0202
8	Inverno 2022	100,98	151,47	3187,97	91,83	0,0291
9	Primavera 2022	105,89	158,84	3512,90	94,70	0,0277
10	Verão 2023	100,09	150,15	3134,89	59,62	0,0189
11	Verão 2023	95,54	143,32	2852,36	95,75	0,0335
12	Outono 2023	99,38	149,08	3088,27	41,22	0,0132
∑	-	-	1638,02	31438,07	719,97	-
M	-	91,00±5,64	136,50±8,46	2619,84±320,75	60,00±13,49	0,0230±0,0041
DP	-	9,97	14,96	566,91	23,86	0,0073
CV (%)	-	10,96	10,96	21,64	39,77	31,96

Σ: somatório; M: média ± intervalo de confiança 95% (p<0,05). EI_{30}: erosividade da chuva; PS: perda de solo; Fator K = PS/EI_{30}.

As perdas de solo (PS) aumentaram nas chuvas subsequentes ao preparo do solo quando comparada com a chuva após o preparo, devido a compactação superficial ocasionada pelas chuvas aplicadas e a reacomodação das partículas de solo, que reduziram a capacidade de infiltração de água, e consequentemente, aumentaram o escoamento superficial, incluindo as perdas de solo (Carvalho *et al*., 2015).

O valor médio do fator K de 0,0230 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} indica que cada unidade de erosividade da chuva - EI_{30} (1,0 MJ mm ha^{-1} h^{-1}), ocasiona uma perda média de solo de 0,0230 Mg ha^{-1}, diferindo dos valores de 0,0049 e 0,0086 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} citados por WaltricK *et al*. (2015) e Wagner e Massambani (1988) para um LVd da região do presente estudo. Com isso, o valor médio do fator K obtido foi de 2,7 a 4,7 vezes superior ao da literatura.

Os valores do fator K observados para o LVd argiloso, considerando o intervalo de confiança das médias de 95% (p<0,05), enquadram-se nas classes de baixa erodibilidade (0,010 a 0,030 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}) para Foster *et al*. (1981) e média erodibilidade (0,015 a 0,030 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}) segundo Mannigel *et al*. (2008). O último autor separa em um maior número de classes esse fator, devido os valores de erodibilidade serem utilizados para estabelecer uma escala de suscetibilidade natural dos solos à erosão

hídrica. Por outro lado, ao considerar o desvio padrão dos valores do fator K, a classificação da erodibilidade variou de baixa a alta (> 0,030 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}).

CONCLUSÕES

O fator erodibilidade do Latossolo Vermelho distrófico argiloso determinado pelo quociente entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas foi de 0,0230 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}, com variação de ± 0,0041 Mg ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} considerando o intervalo de confiança de 95%, enquadrando-se nas classes baixa (Foster *et al*., 1981) e média erodibilidade (Mannigel *et al*., 2008) para risco potencial de erosão hídrica.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária, a Federação da Agricultura do Estado do Paraná, e ao Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Paraná pelos recursos financeiros concedidos para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

AMARAL, A. J. *et al*. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2145-2155, 2008.

BACK, Á. J. Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perdas de Solo. Epagri. Boletim Técnico, 210. 2023, 80p.

BERTOL, I. *et al*. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidraulicamente: fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1905-1910, 2012.

CARVALHO, D. F. *et al*. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p. 1072-1078, 2015.

FOSTER, G. R. *et al*. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 355-359, 1981.

MANNIGEL, A. R. *et al*. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.24, p. 1335-1340, 2008.

MERTEN, G. H. *et al*. **Erosão no Estado do Paraná: fundamentos, estudos experimentais e desafios**. Londrina: IAPAR, 2016.

MEYER, L. D. An investigation of methods for simulating rainfall on standard runoff plots and a study of the drop size, velocity, and kinetic energy of selected spray nozzles. **Special Report 81**, 1958. 43 p.

RENARD, K. G. *et al*. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agricultural Handbook, 703**. USDA; 1997.

SILVA, L. F. S. *et al*. Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um latossolo vermelho da região de Campinas, SP. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 3, p. 51-58, 2016.

WAGNER, C. S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade da chuva-energia de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 197-203, 1988.

WALTRICK, P. C. *et al*. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: Atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 256-267, 2015.

WANG, B. *et al*. Improved USLE-K factor prediction: a case study on water erosion areas in China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, p. 168-176, 2016.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rain fall erosion losses: A guide to conservation planning. **Agricultural Handbook**, 58p. 1978.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO-VAZÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM E SEM TERRAÇOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARANÁ

Miguel David Fuentes-Guevara[1*], Graziela Moraes de Cesare Barbosa[2], José Francirlei de Oliveira[2], Gustavo Henrique Merten[3], Cristiano Andre Pott[4]

[1]Pesquisador, PPG-Agronomia da UNICENTRO, [2]Pesquisador, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR, [3]Professor, University of Minnesota Duluth, [4]Professor pesquisador do PPG-Agronomia, UNICENTRO. *E-mail: miguelfuge@hotmail.com

RESUMO

O manejo da água em bacias hidrográficas agrícolas é essencial para reduzir o escoamento superficial e a erosão. Este estudo avaliou a dinâmica precipitação-vazão em duas bacias agrícolas cultivadas sob sistema plantio direto do Paraná: Cambé, com terraços, e Guarapuava, sem terraços. O monitoramento hidrossedimentométrico incluiu precipitação, vazão e variáveis hidrológicas derivadas. Os resultados mostraram que Cambé apresentou menores coeficientes de escoamento superficial e maior infiltração, com pico de vazão de 18 L s^{-1}, enquanto Guarapuava registrou maior escoamento e pico de vazão (2009,47 L s^{-1}). A presença de terraços em Cambé amortece a resposta hidrológica. Em Guarapuava, o sistema plantio direto isolado não foi eficiente para conter o escoamento superficial. Conclui-se que práticas mecânicas, como os terraços, são fundamentais para mitigar impactos hidrológicos e melhorar a conservação do solo e da água em sistemas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: escoamento superficial; escoamento de base; coeficiente de escoamento superficial; práticas mecânicas de conservação; resposta hidrológica.

INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica hidrológica em bacia hidrográfica (BH) é essencial para mitigar os impactos dos eventos extremos de precipitação sobre os processos hidrossedimentológicos. O escoamento superficial e a erosão do solo são fenômenos fortemente influenciados pelo manejo do solo e pelas práticas conservacionistas adotadas. Entre essas práticas, destacam-se os terraços agrícolas, que diminuem o comprimento de rampa, atuam na retenção da água e na redução da velocidade do escoamento superficial, contribuindo para a diminuição da erosão e do transporte de sedimentos (Fuentes-Guevara *et al*., 2024).

No entanto, nos últimos anos, tem-se observado uma redução na adoção de terraços por parte dos produtores rurais, devido às dificuldades operacionais e aos custos de manutenção. Como alternativa, o sistema plantio direto (SPD) tem sido amplamente adotado, sendo considerado uma estratégia eficiente para o controle da erosão e a conservação da água no solo (Didoné *et al*., 2019). Apesar de seus benefícios, ainda há incertezas sobre a real eficácia do SPD em comparação ao uso de terraços na atenuação dos impactos hidrológicos de eventos extremos de precipitação.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar a resposta hidrológica de BHs com e sem terraços sob SPD no estado do Paraná, avaliando o comportamento da relação precipitação-vazão durante eventos extremos. A investigação busca fornecer subsídios técnicos e científicos para embasar a tomada de decisão sobre o manejo do solo e a adoção de práticas conservacionistas que maximizem a retenção de água e minimizem as perdas de solo em ambientes agrícolas.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em BHs agrícolas de primeira ordem, pertencentes ao projeto NAPI-PROSOLO, localizadas em Cambé e Guarapuava no estado do Paraná. Essas BHs apresentam características representativas de solo, relevo, uso e manejo predominantes em cada região, refletindo a principal atividade agrícola desenvolvida localmente (Pott *et al*. 2023). A BH de Cambé está situada entre as coordenadas

23°9’58” S e 51°14’15” O, abrangendo uma área de 132 ha. Os solos predominantes são Latossolos de textura muito argilosa e Nitossolos de textura argilosa, com relevo ondulado e altitudes variando entre 508 a 572 m. O clima da região é Cfa. A paisagem agrícola é caracterizada pelo cultivo de grãos sob SPD, com sucessão soja/verão e milho/inverno, associada à presença de terraços em toda área. A BH de Guarapuava, localizada entre as coordenadas 25°32’1,07” S e 51°31’54,05” O, possui uma área de 118 ha. Seus solos são predominantemente Latossolos de textura muito argilosa e Cambissolos de textura argilosa, também com relevo ondulado, e altitudes variando entre 1.070 a 1.110 m. O clima da região é Cfb. Nessa área, o SPD é adotado sem a presença de terraços, com sucessão de culturas composta por soja e milho no verão, e trigo, cevada e aveia no inverno. A seleção dessas BHs permite a comparação entre sistemas com e sem terraços, contribuindo para a análise da dinâmica precipitação-vazão e dos impactos das práticas conservacionistas na redução das perdas de solo e água em ambientes agrícolas.

No exutório das BHs, foram instaladas estações de monitoramento para registrar precipitação e vazão. A vazão foi medida por meio de uma calha Parshall com poço tranquilizador, onde um sensor de nível de água conectado a um datalogger registrava os dados em intervalos programados. A precipitação foi monitorada por um pluviômetro de cubas basculantes, também ligado ao datalogger, com correções baseadas em um pluviômetro Ville de Paris. Os registros foram coletados a cada 5 minutos durante os eventos hidrológicos. Os dados extraídos dos *dataloggers* foram processados para a determinação das seguintes variáveis hidrológicas: vazão (Q, L s^{-1}), precipitação (P, mm), intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}, mm h^{-1}), volume total do escoamento (Vol_T, m^3), volume de escoamento de base (Vol_{Base}, m^3), volume de escoamento superficial (Vol_{Sup}, m^3), altura de lâmina de água total durante o escoamento superficial (Lâmina, mm), coeficiente de escoamento superficial (C, %), vazão máxima ($Q_{máx}$, m^3 s^{-1}), infiltração aparente (I_a, mm), tempo de duração da chuva (T_w, min), tempo entre o início e o fim do escoamento superficial (T_b, min), tempo entre o início da chuva e o pico de vazão (T_{lp}, min) e tempo de concentração (T_c, min). Nesse estudo, foram selecionados os eventos extremos de precipitação-vazão de maior magnitude registrados entre os anos 2019 e 2023. A seleção foi realizada por meio da análise de *box-plot*, representando a distribuição dos eventos. A partir dos dados de precipitação e vazão, foram elaborados hidrogramas e hietogramas, permitindo a comparação dos eventos extremos e a resposta hidrológica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento da precipitação nas BHs permitiu identificar eventos extremos em ambas as regiões (Figura 1a). Os de maior magnitude ocorreram em 13/03/2022 (Cambé, P=79,70 mm) e 08/03/2023 (Guarapuava, P=81,51 mm) (Tabela 1). Apesar da frequência de eventos extremos, a BH de Cambé apresentou menores perdas de água por escoamento superficial, refletidas nos menores coeficientes de escoamento (Figura 1b), evidenciando a eficiência dos terraços na retenção e infiltração de água (Fuentes-Guevara *et al*., 2024). Os hietogramas das BHs diferiram, com a precipitação mais concentrada em Cambé e mais distribuída ao longo do tempo em Guarapuava, porém com as maiores intensidades ocorrendo no centro do evento. Os hidrogramas das BHs demonstraram diferenças nas respostas hidrológicas. O hidrograma de Guarapuava foi mais assimétrico, com subida gradual e descida rápida, indicando um tempo maior até o pico de vazão (Figura 2b). O formato do pico de vazão mais achatado em Guarapuava pode ser devido ao tempo de duração da chuva (T_w) maior, resultando em um escoamento mais distribuído ao longo do tempo. Mesmo nos eventos mais intensos, a lâmina de água perdida em Cambé (0,05 mm) foi muito inferior à de Guarapuava (7,10 mm) (Tabela 1), reforçando o papel dos terraços na redução do escoamento superficial (Pott *et al*., 2023).

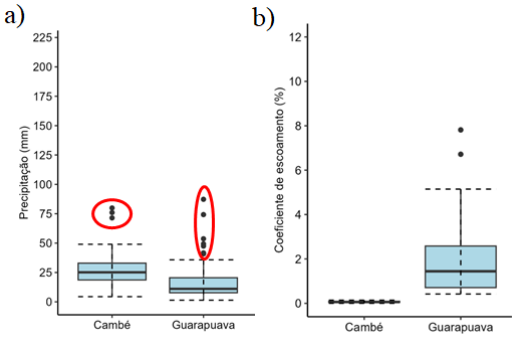


Figura 1. Distribuição dos dados de precipitação pluviométrica (a) e coeficiente de escoamento superficial (b) nas bacias hidrográficas de Cambé e Guarapuava no período de 2019-2023.

Tabela 1. Descrição dos parâmetros hidrológicos dos eventos extremos precipitação-vazão nas bacias hidrográficas de Cambé e Guarapuava.

Parâmetro	Unidade	Cambé	Guarapuava
P	mm	79,70	81,51
I_{30}	mm h^{-1}	103,2	83,77
Vol_T	m^3	100,76	16226,79
Vol_{Base}	m^3	37,44	7889,10
Vol_{Sup}	m^3	63,32	8337,68
Lâmina	mm	0,05	7,10
C	%	0,06	8,67
$Q_{máx}$	L s^{-1}	18,58	2009,47
I_a	mm	79,65	74,44
T_w	min	90	175
T_b	min	140	125
T_{lp}	min	45	75
T_c	min	70	10

Abreviações: P: precipitação; I_{30}: intensidade máxima em 30 min; Vol_T: volume total do evento; Vol_{Base}: volume do escoamento de base do rio; Vol_{Sup}: volume total do escoamento superficial do rio; Lâmina: altura de lâmina de água total durante o escoamento; C: coeficiente de escoamento superficial; $Q_{máx}$: vazão máxima; I_a: infiltração aparente; T_w: tempo de duração de chuva; T_b: tempo entre o início do escoamento e o final do escoamento; T_{lp}: tempo entre o início da chuva e o pico de vazão; T_c: tempo de concentração

Em Cambé, o hidrograma apresentou uma subida mais íngreme, associada à maior intensidade máxima em 30 minutos (I_{30} = 103,2 mm h^{-1}), mas com uma recessão mais lenta, confirmando o armazenamento e a infiltração da água pelo terraceamento (Figura 2a) e presença da mata ciliar mais densa. A BH de Guarapuava apresentou $Q_{máx}$ significativamente superior (2009,47 L s^{-1} vs. 18,58 L s^{-1} em Cambé), refletindo a ausência de terraços e a menor capacidade de retenção hídrica. Os tempos de concentração (T_c) foram diferentes entre as BHs, destacando-se a bacia de Cambé, a qual apresentou uma capacidade de amortecimento muito superior. O tempo entre o início da chuva e o pico de vazão (T_{lp}) foi maior em Guarapuava (75 min) do que em Cambé (45 min), enquanto o tempo de escoamento superficial (T_b) foi semelhante entre as BHs, com Cambé apresentando uma fase de recessão mais prolongada (Tabela 1).

O Vol_T e o Vol_{sup} foram expressivamente maiores em Guarapuava, confirmando a limitação do SPD sem terraços no controle das perdas de água. Em contrapartida, Cambé registrou maior I_a, evidenciando o papel dos terraços na retenção hídrica e na conservação do solo. O EI_{30} foi menor em Guarapuava, mas o C foi mais intenso. Esses resultados reforçam a importância das práticas mecânicas de conservação do solo na mitigação da perda hídrica e no controle do escoamento superficial em sistemas agrícolas.

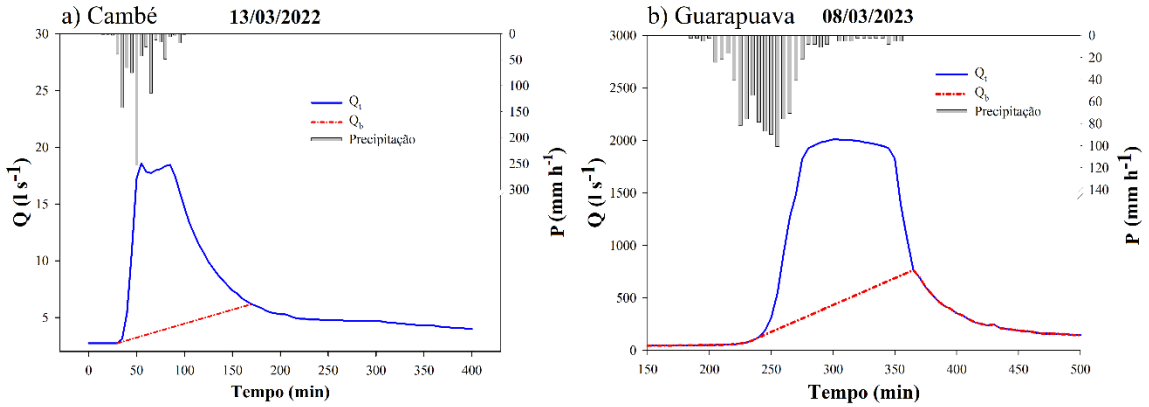


Figura 2. Eventos extremos de precipitação-vazão nas bacias hidrográficas de Cambé (a) e Guarapuava (b).Q_s= escoamento superficial, Q_b= escoamento de base.

CONCLUSÕES

A presença de terraços na BH de Cambé reduziu o escoamento superficial e aumentou a infiltração de água, destacando sua eficácia na mitigação das perdas hídricas. Em contraste, a BH de Guarapuava, sob SPD sem terraços, apresentou maior escoamento, evidenciando a limitação do SPD isolado no controle do escoamento superficial. Os hidrogramas mostraram uma resposta hidrológica mais intensa em Guarapuava, com maior volume escoado. Os resultados reforçam a necessidade de práticas conservacionistas combinadas, como o uso de terraços, para aumentar a sustentabilidade hídrica em sistemas agrícolas.

AGRADECIMENTOS

A equipe do Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da UNICENTRO e ao grupo de pesquisa de pesquisa em Ciência do Solo do IDR pelo apoio a esta pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3.

BIBLIOGRAFIA

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; LONDERO, A. L. L.; LEFÈ, I.; EVRARD, O. Quantifying the impact of no-tillage on soil redistribution in a cultivated catchment of southern Brazil (1964–2016) with 137Cs inventory measurements. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 284, 106588, 2019.

FUENTES-GUEVARA, M. D.; SPLIETHOFF, J.; CAMILO, E. L.; GARCIA NETO, E.; OLANIK, C.; *et al*. Mixture of winter cover crops reduces surface runoff and sediment production under no-tillage system for Oxisols. **Land Degradation & Development**, p. 1–12, 2024.

POTT, C. A.; BARBOSA, G. M. C.; PELLEGRINI, A.; OLIVEIRA, J. F. *et al*. Monitoramento hidrossedimentométrico em bacias hidrográficas. ***In:*** PELLEGRINI, A.; BARBOSA, G. M. C. Manejo e conservação de solo e água. formação, implantação e metodologias; Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada. Curitiba: SENAR AR/PR, Vol 1. 2023. p. 113-154.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

TERRACEAMENTO AGRÍCOLA E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ENCOSTAS SOB PLANTIO DIRETO

Ariane Lentice de Paula [1*], Regiane Kazmierczak Becker [2], Éricles Leonardo dos Santos [3], Eduardo Augusto Agnellos Barbosa [2], Fabrício Tondello Barbosa Neyde Fabíola Balarezo Giarola [2]
[1*]Pos-doutoranda, Universidade Estadual de Ponta Grossa, ariane.le.paula@gmail.com; [2] Doutor, Universidade Estadual de Ponta Grossa; [3] Mestrando, Universidade Estadual de Ponta Grossa

RESUMO

O terraceamento agrícola é uma prática eficiente em reduzir as perdas de solo e água em plantio direto. Desta forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar e quantificar as perdas de sedimentos em encosta cultivada em plantio direto com terraços agrícola na mesorregiçao centro-oriental do Paraná. A área experimental é caracteriza por duas megaparcelas, com terraços e sem terraços agrícolas em plantio direto em Ponta Grossa-PR. Foram monitorados os eventos de precipitação e escoamento superficial no ano de 2023, com auxílio de pluviógrafo e calha H, respectivamente. Foi determinada a vazão e as concentrações de sedimento e posteriormente, calculou as perdas totais de sedimento. Os resultados permitem afirmar que os terraços agrícolas são eficientes em reduzir as perdas de sedimento em encosta cultivada com plantio direto. A baixa produção de sedimentos na área com terraço destaca a importância dessa prática conservacionista na proteção do solo.

PALAVRAS-CHAVE: perda de solo; eventos de chuva-vazão; erosão hídrica.

INTRODUÇÃO

A redução das perdas de solo e água em áreas agrícolas é essencial para preservar a capacidade do solo de fornecer serviços ecossistêmicos, contribuindo diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (Adhikari e Hartemink, 2016). Apesar disso, observa-se uma intensificação da erosão do solo nos últimos anos (Guerra *et al.*, 2020) e a necessidade de conter os processos erosivos (Panagos *et al*. 2020), mas poucas estratégias têm sido observadas no Brasil, principalmente com a adoção do terraceamento agrícola (Telles *et al.*, 2019; Wen *et al.*, 2023).

O plantio direto, amplamente adotado no Brasil, possui inúmeros benefícios, apesar disso, não contém sozinho a erosão do solo (Barbosa *et al.*, 2021; Fuentes-Guevara *et al.*, 2024). Isso ocorre em função da realização deste manejo sem a adoção de demais práticas conservacionistas (Telles *et al.*, 2019) e do aumento da intensidade de chuvas ocasionadas mudanças ambientais (Guerra *et al.*, 2020; Riquetti *et al.*, 2023). Nesse sentido, destaca-se a importância da adoção das práticas mecânicas complementares no plantio direto (Fuentes-Guevara *et al.*, 2024).

Dentre estas práticas, o terraceamento agrícola, com função principal de interceptar o escoamento superficial da água, é uma alternativa (Wen *et al.*, 2023). Destaca-se a necessidade de investimento em pesquisa e em políticas públicas que apoiem o uso dos terraços (Chen, Wei e Chen, 2020) pois, apesar dos terraços serem conhecidos por sua capacidade de aumentar a infiltração de água, reduzindo o escoamento superficial, as perdas de solo (Xu *et al.*, 2018), e melhorando a umidade do solo (Chen, Wei e Chen, 2020) seu uso em agroecossistemas no Brasil tem sido negligenciado (Telles *et al.*, 2019; Wen *et al.*, 2023).

Com esse intuito, no estado do Paraná tem sido desenvolvidos trabalhos visando investigar o efeito do uso de terraços agrícolas, bem como capacitar e formar uma rede de profissionais capazes de fomentarem a importância do seu uso, visando a redução da degradação do solo por erosão e assim melhorar os serviços ecossistêmicos do solo nas áreas de produção de grãos (Fuentes-Guevara *et al.*, 2024). O objetivo da pesquisa foi avaliar e quantificar as perdas de sedimentos em encosta cultivada em plantio direto com terraços agrícola na mesorregiçao centro-oriental do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental é caracteriza por duas megaparcelas, uma com terraços (CT) e a outra sem terraços (ST), ambas localizadas em encostas convexo-convergentes com características similares de relevo, solos e fluxos de água da superfície. Localizadas na Fazenda Escola Capão da Onça da Universidade Estadual de Ponta Grossa, situada no município de Ponta Grossa, Paraná (25°05‟49” S e 50°03‟43,11” W; altitude de 975 m). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é tipo Cfb, mesotérmico subtropical úmido, sem estações secas (Alvares *et al.*, 2013). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Santos *et al.*, 2018), com textura franco-argilo-arenosa.

A área experimental adotava o plantio direto há mais de 20 anos, com escarificação ocasional para a produção de grãos, dividida em glebas. Para iniciar o estudo, em 2019, a área foi escarificada a 40 cm de profundidade com o objetivo de padronizar as condições estruturais do solo e minimizar diferenças na dinâmica hidrológica do sistema. O cultivo de culturas na área segue o padrão adotado pelos produtores da região, com soja (*Glycine max*) ou milho (*Zea mays*) no verão e aveia (*Avena strigosa*) ou trigo (*Triticum aestivum*) no inverno.

As megaparcelas são delimitadas por camalhões e os terraços dimensionados considerando um período de retorno de 10 anos. Na jusante das megaparcelas instalou-se uma calha H de 2,5' com canal de aproximação de 3,80 m e capacidade máxima de medição de vazão de 550 L s-1. Durantes os eventos de chuva-vazão que ocorreram em 2023, o monitoramento foi realizado de forma presencial, com medições a cada minuto da altura d'agua. Simultaneamente, foram coletados a água escoada em frascos de vidro (0,50 L). Os frascos foram identificados e levados para determinação da concentração de sedimentos pelo método de decantação e evaporação (Shreve e Downs, 2005). As chuvas foram monitoradas por pluviógrafo de báscula, com aquisição de dados a cada 5 minutos. A correção da lâmina precipitada é feita com o auxílio de um pluviomêtro Ville Paris.

Os dados foram submetidos ao teste não paramétrico de Wilcoxon á 5% de probabilidade e apresentados no formato de boxplot. As análises foram realizadas pelo programa R (R Development Core Team, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 2023, foram monitorados um total de 19 eventos de chuva-vazão nas megaparcelas. No evento da data de 30/10/2023 foi registrado a chuva de maior intensidade média (Tabela 1). Na Figura 1 é apresentado o comparativo das megaparcelas durante os eventos de chuva-vazão que ocorreram em 2023. Os resultados evidenciam que em ST houve os maiores valores de vazão de pico (Qp) concentração de sedimentos (CSS) e produção de sedimentos total (PS - total). Esses achados reforçam a eficácia dos terraços na contenção do escoamento superficial e na redução do transporte de sedimentos, como evidenciado em outros trabalhos (Fuentes-Guevara *et al.*, 2024).

O maior outlier observado em ST, para a Qp e PS-total, representa a vazão de 75,83 L s^{-1} e a produção de sedimentos total de 92,55 kg, referente ao evento que ocorreu no dia 30/10/2023. Esse valor elevado está associado à ausência de terraços, o que favorece o escoamento superficial intenso e a erosão do solo, principalmente em eventos de precipitação mais intensos, ressaltando a importância das práticas conservacionistas mecânicas em reduzir as perdas de solo de sua camada mais fértil, o que pode afetar diretamente sua capacidade de funcionamento ao longo do tempo (Guerra *et al.*, 2020).

Tabela 1. Principais eventos chuva-vazão monitorados nas megaparcelas durante o ano de 2023 em Ponta Grossa - PR.

Evento	Precipitação (mm)	Intensidade média (mm h^{-1})	I30 (mm h^{-1})
17/02/2023	17,19	11,46	22,4
02/03/2023	14,3	19,07	27,64
03/03/2023	7,86	0,008	15,25
03/03/2023	27,33	29,81	49,19
03/03/2023	14,35	19,13	27,79
16/04/2023	45,09	28,48	52
18/04/2023	10,97	14,63	20,41
27/07/2023	13,33	17,78	24,89
11/08/2023	11,8	6,74	10,44
02/09/2023	14,88	11,9	20,74
08/10/2023	8,52	7,6	12,44
12/10/2023	3,92	15,66	7,83
26/10/2023	5,99	11,99	11,99
27/10/2023	16,6	9,49	21,21
28/10/2023	18,24	9,12	18,84
28/10/2023	10,02	17,18	19,64
29/10/2023	22,25	11,13	22,45
30/10/2023	34,44	37,57	61,17
04/12/2023	13,65	0,007	20,16

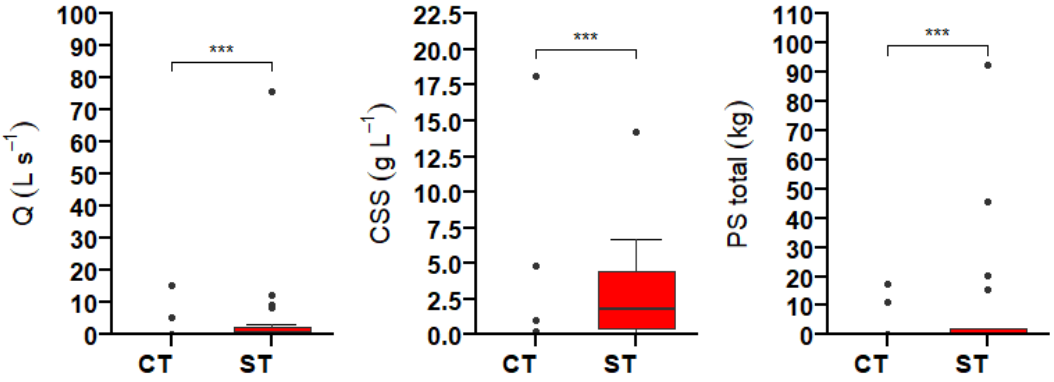


Figura 1. Variação da Vazão de pico (Q), concentração de sedimentos (CSS) e produção de sedimentos total (PS total) durante os eventos de chuva com escoamento monitorados nas megaparcelas com terraço (CT) e sem terraço (ST.).

CONCLUSÕES

Os terraços agrícolas foram eficientes para reduzir a perda de sedimentos e a vazão em encosta cultivada em plantio direto, contribuindo para a mitigação da erosão hídrica. O plantio direto no cultivo de grãos não controla totalmente as perdas de água e solo em encostas. A baixa produção de sedimentos na área com terraço destaca a importância dessa prática conservacionista na proteção do solo.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária pelo financiamento do projeto (Convênio FA 129/17). Ao SENAR-PR, FAEP e a Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada (NAPI PROSOLO) pelo apoio. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

BIBLIOGRAFIA

ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services - A global review. **Geoderma**, v. 262, p. 101–111, 5 jan. 2016.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WOLSCHICK, N. H.; VÁZQUEZ, E. V. The effects of previous crop residue, sowing direction and slope length on phosphorus losses from eroded sediments under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 206, p. 104780, fev. 2021.

CHEN, D.; WEI, W.; CHEN, L. How can terracing impact on soil moisture variation in China? A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 227, p. 105849, jan. 2020.

FUENTES-GUEVARA, M. D.; SPLIETHOFF, J.; CAMILO, E. L.; NETO, E. G.; OLANIK, C.; PACHECO, A. A.; FERREIRA, R.; RAMPIM, L.; MÜLLER, M. M. L.; POTT, C. A. Mixture of winter cover crops reduces surface runoff and sediment production under no-tillage system for Oxisols. **Land Degradation & Development**, v. 35, n. 6, p. 2145–2156, 15 abr. 2024.

GUERRA, C. A.; ROSA, I. M. D.; VALENTINI, E.; WOLF, F.; FILIPPONI, F.; KARGER, D. N.; NGUYEN XUAN, A.; MATHIEU, J.; LAVELLE, P.; EISENHAUER, N. Global vulnerability of soil ecosystems to erosion. **Landscape Ecology**, v. 35, n. 4, p. 823–842, 10 abr. 2020.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; ROBINSON, D. FAO calls for actions to reduce global soil erosion. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 25, n. 5, p. 789–790, 4 maio 2020.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**Vienna, Austria., 2023. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 29 nov. 2023

RIQUETTI, N. B.; MELLO, C. R.; LEANDRO, D.; GUZMAN, J. A. Climate change projections of soil erosion in South America in the XXI century. **Geoderma Regional**, v. 33, p. e00657, jun. 2023.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. Á. DE.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. DE. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., rev.ampl. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SHREVE E. A.; DOWNS A. C. **Quality-Assurance Plan for the Analysis of Fluvial Sediment by the U. S.** Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory, U.S. Geological SurveyReston, Virginia, 2005.

TELLES, T. S.; LOURENÇO, M. A. P.; OLIVEIRA, J. F.; COSTA, G. V.; BARBOSA, G. M. C. Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, 2019.

WEN, X.; ZHEN, L.; JIANG, Q.; XIAO, Y. A global review of the development and application of soil erosion control techniques. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 3, p. 033003, 1 mar. 2023.

XU, Q.; WU, P.; DAI, J.; WANG, T.; LI, Z.; CAI, C.; SHI, Z. The effects of rainfall regimes and terracing on runoff and erosion in the Three Gorges area, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 10, p. 9474–9484, 20 abr. 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA DE PRIMEIRA ORDEM TERRACEADA NO OESTE DO PARANÁ

Ana Lúcia Londero[1]; Silvio Duarte da Luz[2]; José Francirlei de Oliveira[3]; Graziela Moraes de Cesare Barbosa[4]
[1]Pós-Doc -Universidade Federal de Santa Maria, E-mail: londeroanalucia@gmail.com; [2] IDR – Paraná/bolsista Fundação Araucária; [3]Analista de C&T, Dr., IDR – Paraná; [4]Pesquisadora, Dra, IDR – Paraná

RESUMO

O estudo quantificou a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica de primeira ordem, manejada sob plantio direto e terraceada em Toledo/PR. Uma seção de monitoramento foi instalada no exutório da bacia, para quantificar a vazão gerada em uma área de contribuição de 108 hectares. Em 2023 foram monitorados e analisados um conjunto de 25 eventos de chuva-vazão, dos quais 8, de maior magnitude. O volume acumulado de precipitação registrado foi de 571,3, desse apenas 1,6 mm foi perdido por escoamento superficial, com coeficientes de escoamento inferior a 1%, variando entre 0,12% e 0,51%. Os resultados ratificam a eficiência dos terraços em aumentar a retenção e a infiltração de água no solo e comprovam a sua capacidade em disciplinar o excesso de precipitação. Portanto, o terraceamento é uma estratégia eficaz para otimizar o aproveitamento da água em áreas agrícolas e reduzir os impactos erosivos.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento superficial; infiltração aparente; plantio direto

INTRODUÇÃO

No oeste do Paraná, a atividade agrícola é desenvolvida de forma intensiva, com cultivo de soja no verão e milho na segunda safra. Esse sistema de produção deixa o solo aproximadamente 50 dias em período de pousio. Relatórios do IPCC (2013) indicam uma tendência global de mudanças climáticas que afetam o regime de precipitação, tornando os padrões mais irregulares e extremos devido ao aumento da temperatura (IPCC, 2013; Tian *et al*., 2021). As alterações climáticas impactam diretamente a produção agrícola, tornando essencial o aprimoramento e a integração de práticas de manejo conservacionista de solo, planta e água, para minimizar os efeitos da escassez ou do excesso de precipitações nos sistemas produtivos.

O Paraná foi pioneiro na adoção do plantio direto, o que trouxe benefícios em relação a redução da perda de solo, mas não se mostrou eficaz para controlar o excesso de escoamento superficial em áreas agrícolas (Deuschle *et al*., 2019; Londero *et al*., 2021). Por isso, a integração do terraceamento como prática de manejo de água surge como uma alternativa eficaz diante das mudanças climáticas. O terraceamento atua como uma barreira mecânica, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e promovendo a infiltração e redistribuição da água ao longo da encosta. De acordo com estudo conduzido por Freitas *et al*. (2021), essa prática contribui para aumentar a disponibilidade de água para as culturas, especialmente em períodos de estiagem prolongada.

A quantificação das perdas de água em áreas agrícolas que adotam o terraceamento associada ao plantio direto é efêmero no sul do Brasil em escalas de bacia hidrográfica ou encostas agrícolas. Neste contexto, o objetivo do estudo foi quantificar as respostas hidrológicas de uma bacia hidrográfica de primeira ordem terraceada, localizada no oeste do Paraná, manejada sob plantio direto durante eventos de chuva-vazão.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma bacia hidrográfica de primeira ordem, situada no município de Toledo/PR (Figura 1). A área de contribuição da bacia é de 108 hectares, caracterizada por relevo suave ondulado e possui 5 classes de solo, com predominância de Latossolos Vermelho e Nitossolo (Santos *et al*., 2018). O clima é classificado como subtropical úmido (Cfa), de acordo com Köppen, com uma precipitação

média anual variando entre 1.600 mm e 1.800 mm (Fendrich, 2011). O manejo adotado é o plantio direto, com semeadura de soja (*Glycine max*) no verão e milho (*Zea mays*) segunda safra ou trigo (*Triticum aestivum*) no inverno.

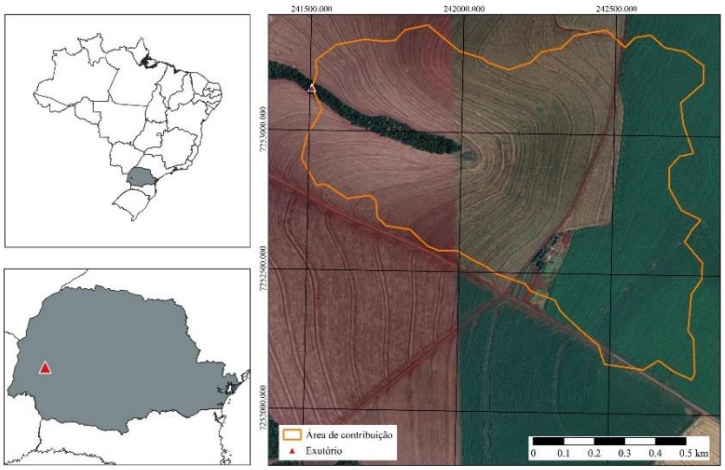


Figura 1. Localização e área de contribuição da bacia hidrográfica (108 ha) de primeira ordem em Toledo/PR.

O diferencial desta bacia hidrográfica é a presença de terraços de infiltração de base larga, dimensionados com base em critérios técnicos que consideram a topografia, a taxa de infiltração do solo e a intensidade das precipitações na região. A semeadura das culturas foi realizada em nível.

O monitoramento foi conduzido com o propósito de quantificar as variáveis hidrológicas em condição de chuva natural. Para isso, no rio de primeira ordem, foi instalada uma seção de monitoramento com calha *Parshal*, a qual foi instrumentalizada com radar (sensor de nível), *datalogger*, pluviógrafo e pluviômetro. Os dados são registrados de maneira contínua, em intervalos de 5 minutos.

Foi monitorado um conjunto de 25 eventos de chuva-vazão ao longo do ano de 2023, dos quais foram selecionados 8 eventos que resultaram nas maiores perdas de água por escoamento superficial. As variáveis analisadas foram: Precipitação (P), Intensidade máxima de 30 minutos (I_{30}), volume de escoamento (VT), volume total de escoamento de base (Veb), volume total de escoamento superficial (Ves), vazão de máxima (Q_{pico}), porcentagem de escoamento superficial (C) e a infiltração aparente (Ia). O método gráfico foi utilizado para a separação do escoamento superficial e de base dos eventos de chuva-vazão monitorados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os eventos de chuva-vazão ocorreram sob diferentes condições de cobertura e umidade antecedente do solo, intensidade e volume de precipitação. A caracterização da precipitação e da vazão dos 8 maiores eventos erosivos monitorados em 2023 encontram-se apresentados na Tabela 1. O volume total de precipitação monitorado foi de aproximadamente 571 mm, deste volume, apenas 0,28% foi perdido pelo escoamento superficial, ou seja, 99,70% da água infiltrou e se deslocou por subsuperfície na bacia. O resultado representa a eficiência dos terraços em disciplinar o excesso de escoamento superficial quando adotado em áreas agrícolas.

Os valores de porcentagem de escoamento superficial (C), expressaram as baixas perdas quantificadas na bacia. Os valores variam de 0,12 a 0,51%, ou seja, menos de 1% da lâmina de água se transformou em escoamento superficial. O resultado corrobora com estudo desenvolvido por Werle (2024), que enfatiza a redução no escoamento superficial e na vazão de pico quando o terraceamento é adotado como prática conservacionista em bacias hidrográficas. A infiltração aparente é outra variável importante,

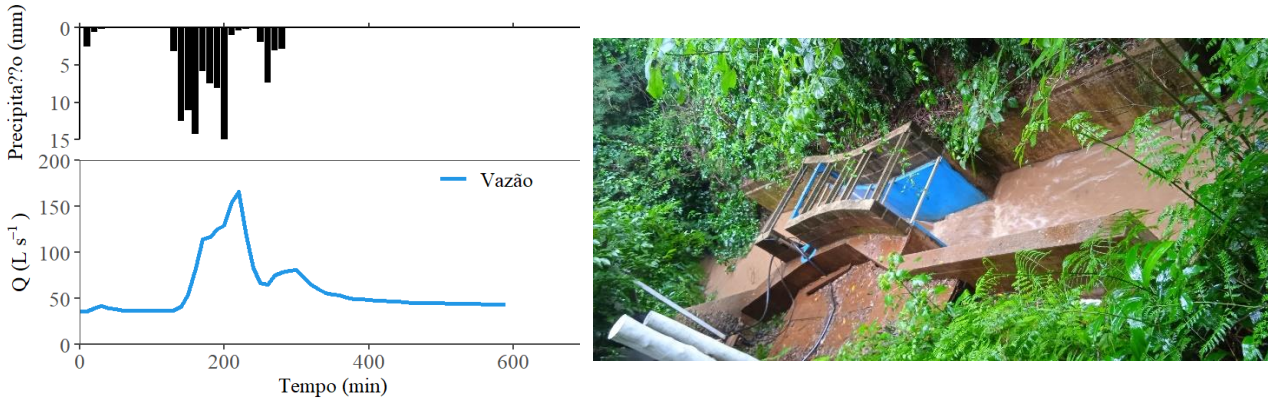
que reflete o comportamento hidrológico da bacia e sua relação com o manejo dos solos, que é definida como a diferença entre a chuva efetiva e o volume de escoamento superficial (Ia = P-Ves). Os resultados comprovam a eficiência da adoção do terraceamento, onde do total monitorado de precipitação de 571,3 mm, 569,7 mm infiltraram no solo, resultando em 1,6 mm perdido pelo escoamento superficial (Tabela 1). Esse volume de água armazenado no solo aumenta a disponibilidade de água para as plantas por maior período (Freitas *et al*., 2021) e potencializa a produtividade das culturas (Hörbe *et al*., 2021).

Tabela 1 - Variáveis de Precipitação e vazão dos eventos monitorados em 2023 na bacia hidrográfica de primeira ordem de Toledo/PR.

Evento	P	I_{30}	VT	Veb	Ves	Ves	C	Q_{pico}	Ia
	mm	mm h^{-1}		m^3		mm	%	L s^{-1}	mm
02/01/2023	41,2	46,6	362,02	268,91	93,11	0,09	0,12	89,17	41,11
14/01/2023	97,6	75,8	1146,87	605,48	541,39	0,50	0,51	165,63	97,1
15/02/2023	86,3	28,8	901,79	766,87	143,91	0,12	0,14	56,96	86,18
28/02/2023	51,8	76,6	417,28	200,24	217,03	0,2	0,39	85,07	51,6
02/09/2023	59,5	45,8	289,68	153,61	136,07	0,13	0,21	61,21	59,37
14/11/2023	101	31	1288,27	1094,46	193,81	0,18	0,18	110,43	100,82
23/11/2023	68,2	49	810,26	540,48	269,78	0,25	0,37	144,59	67,95
23/12/2023	65,7	67,6	439,92	297,01	142,91	0,13	0,2	129,64	65,57
Total	571,3		0	0	0	1,6			569,7

*Precipitação (P), Intensidade máxima de 30 minutos (I_{30}), volume de escoamento (VT), volume total de escoamento de base (Veb), volume total de escoamento superficial (Ves), porcentagem de escoamento superficial (C), vazão de máxima (Q_{pico}), infiltração aparente (Ia).

Um exemplo disso é o evento que ocorreu no dia 14/01/2023 e apresentou as maiores respostas hidrológicas. Nessa data a cultura implantada (soja) encontrava-se em pleno desenvolvimento vegetativo, permitindo boa cobertura do solo. O volume acumulado de precipitação foi de aproximadamente 97 mm, com I_{30} de 76 mm h^{-1} (Tabela 1), considerada chuva erosiva, que promoveu o incremento na vazão de forma imediata ao início da precipitação (Figura 2a). Ressalta-se que a área de contribuição da bacia hidrográfica está próxima a rede de drenagem, onde a subida e a descida da vazão do rio foram rápidas durante o evento (Figura 2a e 2b).



(a) (b)

Figura 2. Hietograma e hidrograma do evento ocorrido em 14/01/2023 (a) e seção de monitoramento na bacia hidrográfica de primeira ordem no mesmo evento (b) em Toledo/PR.

CONCLUSÕES

A adoção do terraceamento na área agrícola em estudo resultou na redução de 99% da porcentagem de escoamento superficial, reduzindo as perdas de água e favorecendo a infiltração aparente na bacia hidrográfica e, consequentemente, o armazenamento e redistribuição da água em subsuperfície.

AGRADECIMENTOS

IDR - Paraná, Itaipu Binacional – Projeto AISA, Fundação Araucária, Sistema Faep/Senar, Rede de Agropesquisa - NAPI Prosolo.

BIBLIOGRAFIA

DEUSCHLE, D. *et al*. Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brazil. **Geoderma**, v. 340, 2019.

FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Champagnat, 2011. 89p

FREITAS, L. DA R. *et al*. Terracing increases soil available water to plants in no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.

HÖRBE, T. *et al*. Managing runoff in rainfed agriculture under no-till system: Potential for improving crop production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. 1–17, 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p. 33, 2013.

LONDERO, A. L. *et al*. Quantifying the impact of no-till on runoff in southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, v. 35, n. 3, 1 mar. 2021.

TIAN, X. *et al*. Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand? **Journal of Cleaner Production**, v. 294, 20 abr. 2021.

SANTOS H. G. dos *et al*. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF. Embrapa,2018.

WERLE, Larissa. **Modelagem do efeito do terraceamento para o controle do escoamento superficial numa bacia rural no sul do Brasil**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2024.

AS FRAÇÕES DE CARBONO NO SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS: EFEITOS DAS PLANTAS DE COBERTURA E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Anna Cecília Ferreira Stremel[1*], Horácio Manfrin Mazero[2], Guilherme de Souza Sotsek[3], Eduarda Camile de Lima[4], André Carlos Auler[5]

[1]Mestranda PPG em Ciência do Solo, UFPR, [2]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [3]Mestrando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Graduanda em Agronomia, UFPR, Professor, UFPR, e-mail: anna_stremel@hotmail.com

RESUMO

O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) surge como uma alternativa para a conservação do solo e da água, promovendo a saúde das plantas e mitigando estresses térmicos, hídricos e nutricionais. O estudo avaliou o impacto de diferentes plantas de cobertura nas frações de carbono orgânico do solo, como o carbono oxidável por permanganato (POXC), em um Cambissolo Háplico no Paraná. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com 10 plantas de cobertura e dois controles (preparo convencional e vegetação espontânea). As amostras de solo foram coletadas em três profundidades (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm) e analisadas para determinar o POXC. Os resultados indicaram que as plantas de cobertura não influenciaram significativamente os teores de carbono total (CT) e POXC, mas houve estratificação natural dos teores de CT nas camadas superficiais. Apesar de resultados iniciais não expressivos, o cultivo de plantas de cobertura contribui para a mitigação das mudanças climáticas e aumenta a resiliência do solo, mostrando a importância de práticas conservacionistas para o sequestro de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: acúmulo de carbono; carbono lábil; conservação do solo.

INTRODUÇÃO

A ideia de aplicação do sistema de plantio direto para hortaliças (SPDH) surge da necessidade de conservação do solo e da água (WISCHMEIER E SMITH, 1978). Além dos três princípios básicos propostos pelo SPD, de não revolvimento do solo, plantio sobre palhada e rotação de culturas, o SPDH também incorpora a meta de promoção de saúde da planta, por meio da garantia do conforto da hortaliça, buscando mitigar ou diminuir o estresse em seu processo de desenvolvimento, como o térmico, hídrico e nutricional (FAYAD *et al*., 2019).

O uso de plantas de cobertura em conjunto com as demais práticas conservacionistas de manejo do solo vem permitindo o aumento da quantidade e diversidade de resíduos que retornam ao solo, favorecendo o desenvolvimento da estrutura do solo, aumento da matéria orgânica e sequestro de carbono (CHERUBIN, 2024).

O carbono orgânico particulado (POC) e o carbono da biomassa microbiana (MBC) são frações importantes do carbono do solo que refletem processos-chave, como o ciclo e a disponibilidade de nutrientes, a agregação do solo e o acúmulo de carbono (Wardle, 1992; Wander, 2004). Diversos estudos demonstraram que tanto o POC quanto o MBC são sensíveis às mudanças no manejo, como a redução do revolvimento do solo, o uso de culturas de cobertura e a alteração do uso da terra (Wardle, 1992).

A determinação do carbono oxidável por permanganato (POXC) é amplamente utilizada para avaliar a qualidade do solo, particularmente sua fração de carbono ativo. Segundo Culmann *et al*. (2013) este método fornece uma métrica sensível às mudanças de manejo e é considerado um indicador-chave da saúde do solo devido à sua relação com a atividade microbiana e a matéria orgânica disponível.

Dessa forma, o trabalho tem como um dos objetivos caracterizar as frações de carbono orgânico, incluindo o carbono lábil e outros compartimentos, para entender a ciclagem de nutrientes e a formação de matéria orgânica no sistema de plantio direto de hortaliças sob diferentes plantas de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Canguiri (25º 23' sul, 49º 08' oeste), no município de Pinhais-PR. Em um solo Cambissolo Háplico Distrófico Tb típico, com relevo suave, com textura argilosa. O clima da região é caracterizado como subtropical úmido (Cfb) (ÁLVAREZ *et al*., 2013).

O ensaio foi conduzido sob delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, sendo 10 plantas de cobertura mais dois tratamentos controle: plantio convencional com intenso revolvimento para preparo de canteiros; e cultivo sem revolvimento e sem plantas de cobertura, apenas uso de vegetação espontânea.

As plantas de cobertura semeadas em abril de 2024 foram: EF - ervilha forrageira (*Pisum sativum* ssp. *arvense*); EC - ervilhaca comum (*Vicia sativa*); TRE - tremoço-branco (*Lupinus albus*); NF e NPP - nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. comum e var. pé de pato); AP - aveia-preta (*Avena strigosa*); AB - aveia-branca (*A. sativa* L.); TRI - triticale (*Triticosecale* W.); TM - trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*); e um MIX comercial composto por aveia branca, ervilha forrageira e nabo comum. A semeadura foi realizada de forma manual, em linhas de semeadura espaçadas em 20 cm. As densidades de semeadura utilizadas foram de 1,5 vezes o recomendado. Previamente a semeadura, as parcelas foram adubadas com cama de frango (5 Mg ha^{-1}). O cultivo foi mantido sob irrigação por aspersão convencional, duas vezes ao dia fornecendo lâminas de irrigação entre 4 e 7 mm h^{-1}.

Após o manejo das plantas de cobertura (60 dias após o plantio), com auxílio de trado holandês, foram coletadas amostras deformadas de solo em três profundidades: 0–05 cm, 05-10 cm e 10–20 cm. As mesmas foram secas em estufa de ventilação forçada de ar, destorroadas, moídas e peneiradas em malha de 2 mm, para obtenção da fração terra fina seca em estufa (TFSE).

O procedimento para determinação de carbono oxidável por permanganato (POXC) em amostras de solo segue o método descrito por Weil *et al*. (2003). Inicialmente, 2,5 g de solo são misturados com 2 mL de solução de $KMnO_4$ (0,2 M) e 18 mL de água. A mistura é agitada por 2 minutos e deixada a decantar por 10 minutos. Após esse processo, o sobrenadante é transferido para um tubo de diluição contendo 49,5 mL de água deionizada, a determinação dos teores foi feita por UV-VIS, com comprimento de ondas de 650 nm para C total e 550 nm para C lábil. O cálculo do POXC é feito com base na absorbância das amostras utilizando a fórmula fornecida por Weil *et al*. (2003). Para estatística foi feito análise de variância aplicando o modelo de blocos casualizados com tratamento em esquema de parcela subdividida, considerando as camadas de solo como subparcela. O teste de Tukey foi usado para comparações múltiplas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de cobertura não influenciaram os teores de CT no solo (p = 0.73788), variando entre 24,46 g kg^{-1}, para TM, até 37,15 g kg^{-1} para o NPP (Figura 1a). Também, não foram reportadas diferenças entre as plantas de cobertura em relação ao SC (29,62 g kg^{-1}). Contudo, como esperado, houve distinção entre os teores de CT entre as profundidades, seguindo a ordem 0-5 cm > 5-10 cm > 10-20 cm (p = 0.01830). Esses resultados foram devido: (i) a natural estratificação dos teores de CT no solo quando este é submetido a sistemas conservacionistas, com revolvimento mínimo e aporte contínuo de resíduos sobre a superfície (DEISS *et al*., 2021); (ii) a curto período de tempo entre o início do experimento de campo (1 ano), logo curto período de tempo da conversão de sistemas convencionais para sistemas conservacionistas (ZOTARELLI *et al*., 2009); (iii) e, principalmente, o curto período entre o cultivo das plantas de cobertura e a amostragem do solo (2 semanas), o que não permite as transformações bioquímicas dos resíduos a ponto de aumentar os teores de CT (FRASIER *et al*., 2016).

Resultados similares foram observados para os teores de POXC tanto para as plantas de cobertura (p = 0.5935) quanto a estratificação entre as camadas de solo (p < 0,0001). Em revisão global, HU *et al*. (2023) observaram que as alterações nos teores de POXC são afetados na seguinte ordem: período de duração do experimento, seguido to tipo de planta de cobertura, pela camada de solo analisada, e por fim, pelo tipo de

manejo adotado tendo essas variáveis, contribuições relativas que podem variar entre 7 e 20% nas modificações da fração dessa fração de carbono.

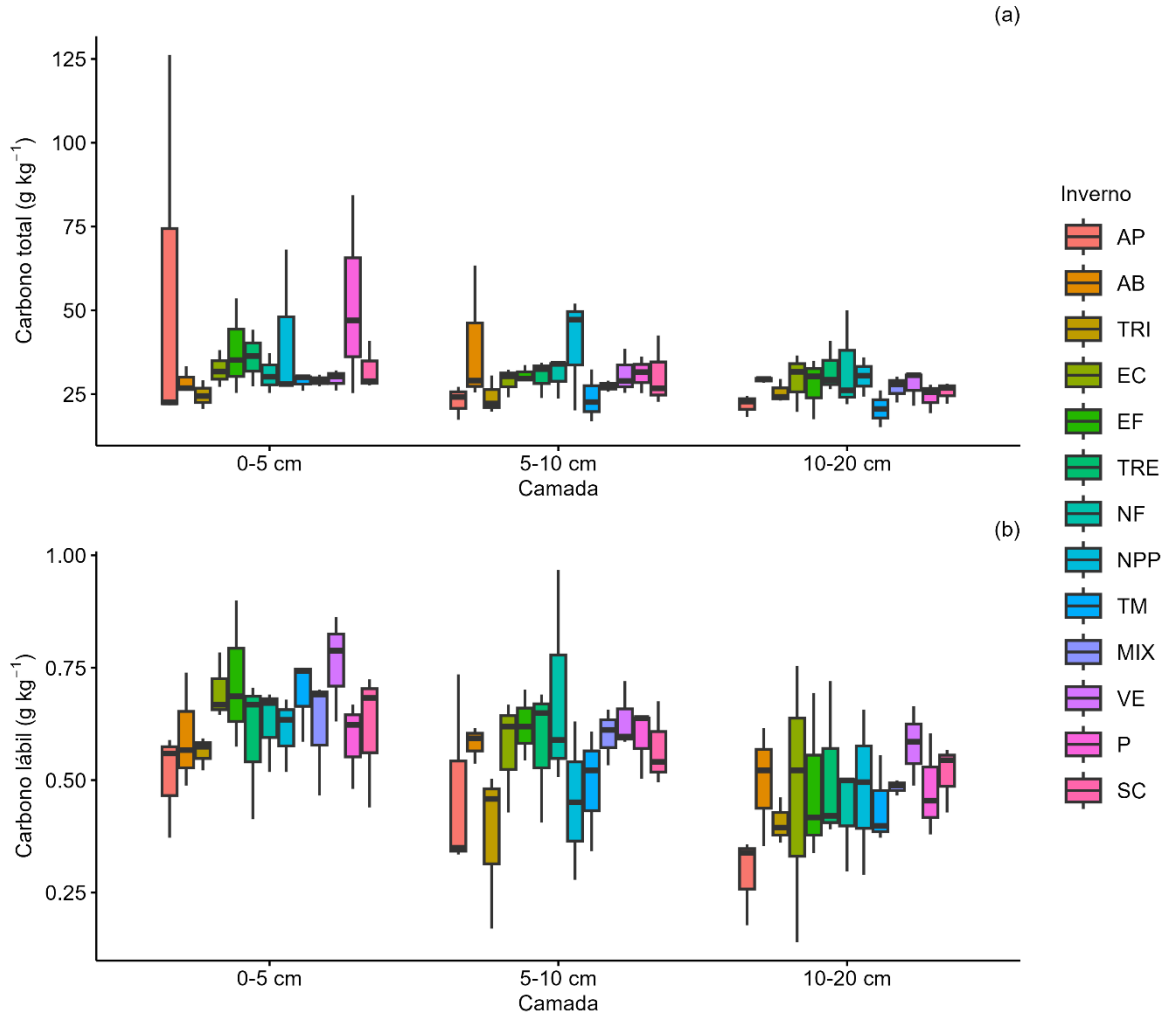


Figura 1. Teores de Carbono total (a) e "lábil", isto é, oxidado por permanganato (b), de camadas de solo manejado sob sistema conservacionista com diferentes plantas de cobertura.

Embora os resultados ainda não tenham sido expressivos, é válido ressaltar que após o ciclo de vida e decomposição das plantas, parte do carbono permanece no solo associado aos minerais e protegido dentro de sua estrutura. Portanto, o cultivo de plantas de cobertura contribui não só para a mitigação das mudanças climáticas como também torna o solo mais resiliente, produtivo e menos vulnerável as mudanças que ocorrerá no clima nas próximas décadas. Nesse sentido, o cultivo de plantas de cobertura é estratégico juntamente com políticas públicas e outras iniciativas para promoção da saúde do solo e sequestro de carbono (NOURI *et al.*, 2019).

CONCLUSÕES

O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) com plantas de cobertura promove a ciclagem de nutrientes e o acúmulo de carbono no solo. Embora os teores de carbono total (CT) e carbono oxidável por permanganato (POXC) não tenham variado significativamente entre as plantas de cobertura, observou-se estratificação natural do carbono nas camadas superficiais.

AGRADECIMENTOS

À Capes e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudos. À Fundação Agrisus pelo financiamento do Projeto (PA 3698/23). Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, M. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

CHERUBIN, M. R. **Guia prático de plantas de cobertura: espécies, manejo e impacto na saúde do solo.** Piracicaba, SP: ESALQ/SOHMA, 2024. 238 p. e-book. Disponível em: https://doi.org/10.11606/9786587391618. Acesso em: 22 fev. 2025.

CULMANN, V.; BROWN, G.; TAYLOR, C. M. Determinação do carbono lábil em solos: um protocolo de análise usando permanganato de potássio. **Journal of Soil Science**, v. 27, n. 4, p. 321-330, 2013.

DEISS, L. *et al*. Does crop rotation affect soil organic matter stratification in tillage systems? **Soil and Tillage Research**, v. 209, p. 104932, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104932

FAYAD, J. A. *et al*. **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção.** Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), 2019. 2 p.

FRASIER, I. *et al*. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. **Science of the Total Environment**, v. 562, p. 628-639, 2016. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.058

HU, Q. *et al*. Soil organic carbon fractions in response to soil, environmental and agronomic factors under cover cropping systems: a global meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 355, p. 108591, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108591

NASCENTE, A.S. *et al*. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. S**oil and Tillage Research**, v. 130, p. 52-57, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2013.02.008

NOURI, A. *et al*. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p. 998-1008, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.016

WANDER, M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. *In:* MAGDOFF, F.; WEIL, R. R. (ed.). **Soil organic matter in sustainable agriculture.** Boca Raton, FL: CRC Press, 2004. p. 67–102.

WARDLE, D. A. A comparative-assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews**, v. 67, p. 321–358, 1992. doi:10.1111/j.1469-185X.1992.tb00728.x.

WEIL, R. R. *et al*. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 18, p. 3–17, 2003.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington, DC: Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

TEOR DE POX-C NO SOLO DECORRENTES DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS

Emilia Giustiniani[1] , Heloisa Barboza Pereira[2], Querolem Maria de Jesus[2], Guilherme de Souza Sotsek[3], André Carlos Auler[4*]

[1]Doutoranda da Universidad de Buenos-Aires, [2]Graduanda em Agronomia, UFPR[2], [3]Mestranda(o) PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Professor, UFPR, e-mail: auler@ufpr.br

RESUMO

O carbono oxidável por permanganato (POX-C) é um indicador sensível de mudanças na qualidade do solo e útil para avaliar os impactos do manejo agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar os teores de POX-C em classes de agregados do solo após o cultivo de 12 espécies de plantas de cobertura de inverno em um sistema de plantio direto com hortaliças. A separação dos agregados foi realizada definindo-se as classes de 2-8, 0.25-2 e <0.25 mm. Não foram encontradas diferenças significativas nos teores de POX-C entre as diferentes plantas de cobertura, nem entre essas e os tratamentos controle. No entanto, observaram-se diferenças entre os estratos de profundidade analisados, sendo o POX-C na 0-10 cm ligeiramente superior ao da camada 10-20 cm.

PALAVRAS-CHAVE: carbono lábil, carbono ativo, SPDH, plantas de cobertura.

INTRODUÇÃO

O Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) tem se consolidado como uma alternativa sustentável ao cultivo convencional, contribuindo para a melhoria da estrutura e fertilidade do solo, além de reduzir a dependência de insumos químicos (Chaveiro *et al*., 2022). Esse sistema fundamenta-se em três princípios essenciais: a manutenção da cobertura vegetal, o mínimo revolvimento do solo e a diversificação de culturas. Nesse contexto, a escolha de plantas de cobertura adaptadas às condições locais é fundamental para assegurar a produção de biomassa em quantidade suficiente, promovendo uma cobertura eficaz do solo e melhorando a disponibilidade de água e nutrientes para as culturas comerciais com as quais são associadas (Alvarenga *et al*., 2001). Embora existam experiências bem-sucedidas de SPDH em diferentes culturas comerciais no Brasil, um dos principais desafios enfrentados pelos produtores é a limitada diversidade de espécies disponíveis para a sucessão e rotação de culturas no sistema (Melo *et al*., 2010).

A fração lábil do carbono do solo desempenha um papel essencial na dinâmica dos ecossistemas terrestres, sendo um indicador sensível das mudanças na qualidade do solo em resposta a diferentes manejos agrícolas e práticas de conservação (Wander, 2004). Dentre as frações lábeis do carbono, destaca-se o carbono ativo, também denominado carbono oxidável por permanganato (POX-C, do inglês Permanganate Oxidizable Carbon). A sensibilidade do método e sua relativa facilidade o tornam ideal para avaliar rotineiramente o carbono biologicamente ativo do solo (Weil *et al*. 2003; Culman *et al*., 2012). Alem de isso, é sensível para detectar diferenças na qualidade do solo devido a fatores de manejo ou ambientais e pode ser uma ferramenta adequada para monitorar práticas que favorecem o sequestro de carbono no solo (Culman *et al*., 2012).

Diante disso, a avaliação do carbono lábil, incluindo o POX-C, em solos sob SPDH é fundamental para compreender os impactos desse sistema na qualidade do solo e na sustentabilidade da produção agrícola. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os teores de POX-C em classes de agregado do solo após o cultivo de plantas de cobertura de inverno em um sistema de plantio direto de hortaliças.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Canguiri (25º 23' sul, 49º 08' oeste), no município de Pinhais-PR. Em um solo Cambissolo Háplico Distrófico Tb típico, com relevo suave, com textura argilosa. O clima desta região, segundo a classificação climática de Köeppen, é Cfb – Subtropical úmido mesotérmico (Cfb) (Maack, 1981).

O ensaio foi conduzido sob delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, sendo 12 plantas de cobertura mais três tratamentos controle: plantio convencional com intenso revolvimento para preparo de canteiros (PC); cultivo sem revolvimento e sem plantas de cobertura, apenas uso de vegetação expontânea (VE); e pousio (P). As plantas de cobertura semeadas em abril de 2024 foram: EF - ervilha forrageira *(Pisum sativum* ssp. *arvense*); EC- ervilhaca comum (*Vicia sativa*); TB - tremoço-branco (*Lupinus albus*); NF - nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) var. comum; NPP - nabo forrageiro (*R. sativus*) var. pé de pato; AP - aveia-preta (*Avena strigosa*); AB - aveia-branca (*A. sativa*); T - triticale (*Triticosecale* W.); TM - trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*); MIX – um mix comercial composto por aveia branca, ervilha forrageira e nabo comum. A semeadura foi realizada de forma manual, em linhas de semeadura espaçadas em 20 cm. As densidades de semeadura utilizadas foram de 1.5 vezes o recomendado. Previamente a semeadura, as parcelas foram adubadas com cama de frango (5 Mg ha^{-1}). O cultivo foi mantido sob irrigação por aspersão convencional, duas vezes ao dia fornecendo lâminas de irrigação entre 4 e 7 mm h^{-1}.

Após o manejo das plantas de cobertura (60 dias após o plantio), foram coletadas amostras de agregados de solo em duas profundidades: 0–10 cm e 10–20 cm. A coleta foi realizada visando a mínima perturbação possível dos monólitos. Em laboratório, procedeu-se à desagregação manual dos monólitos em condições úmidas, seguindo os planos de fragilidade do solo (Barreto *et al*., 2009), os materiais foram peneirados com malha de 8 mm. Enquanto o material retido (> 8 mm) foi separado e não utilizado. Posteriormente, realizou-se a separação dos agregados em classes (4–8; 2–4; 1–2; 0.5–1; 0.25–0.5; 0.053–0.25 mm) em condições úmidas, conforme a metodologia proposta por Yoder (1936), com adaptações para solos tropicais segundo Castro Filho *et al*. (1998). Finalmente foram definidas as classes de macroagregados grandes (2-8 mm), macroagregados pequenos (0,25-2 mm) e microagregados (<0.25 mm). Parte das amostras foi quarteada, moída e peneirada em malha de 500 µm para a determinação dos teores de POXC. A quantificação do POXC foi realizada por oxidação do carbono com permanganato de potássio, conforme descrito por Weil *et al*. (2003), com adaptações de Culman *et al*. (2012), e a leitura foi feita em espectrofotômetro UV-VIS (550 nm).

Foram verificadas as pressuposições de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Atendidas as pressuposições, foram feitos os testes F, aplicando o teste de Tukey para comparações múltiplas. Todas as análises foram realizadas por meio do software estatístico R 4.1 (R Core Team, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O POX-C não apresentou diferenças significativas entre as diferentes plantas de cobertura em nenhuma das três classes de tamanho de agregados analisadas. No entanto, as profundidades do solo (0-10 cm e 10-20 cm) mostraram diferenças significativas nas classes de agregados de 0.25-2 mm e 2-8 mm, mas não na classe <0,25 mm. Em média, os teores de POXC na superfície (0-10 cm) foram de 1.07 g kg^{-1}, superando os 0.98 g kg^{-1} registrados na camada subsuperficial (10-20 cm).

Na classe de agregados <0.25 mm (Figura 1), as plantas de cobertura AB (1.13 g kg^{-1}) e TB (1.11 g kg^{-1}) apresentaram os maiores teores de POXC na superfície (Figura 1). Além disso, o tratamento controle com vegetação espontânea (VE) registrou o maior valor de POXC (1.14 g kg^{-1}), superando as plantas de cobertura. No estrato subsuperficial, as coberturas NF (1.18 g kg^{-1}) e EF (1.01 g kg^{-1}) apresentaram os maiores teores de POXC, e o tratamento VE manteve valores semelhantes aos das plantas de cobertura (1.05 g kg^{-1}). Nesse

caso, as diferenças de POXC entre os dois estratos de profundidade foram similares, com um teor médio de 0.97 g kg^{-1} na superfície e 0.91 g kg^{-1} no subsolo.

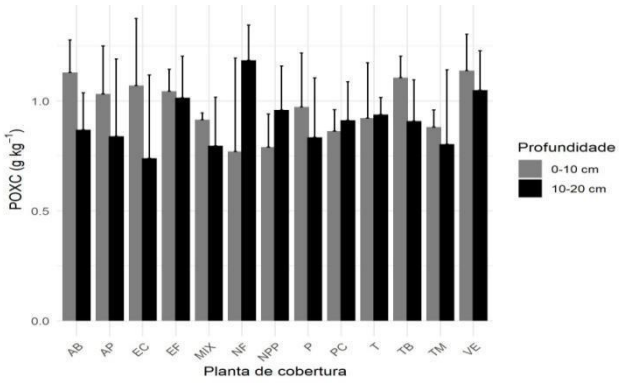


Figura 1. Médias e desvios padrão do teor de carbono oxidado por permanganato (g kg^{-1}) em agregados > 0.25 mm para todas as culturas de cobertura em duas profundidades (0-10 cm; 10-20 cm).

Na classe de agregados de 0.25-2 mm (Figura 2), os teores de POXC na superfície (0-10 cm) foram semelhantes para todos os tratamentos com plantas de cobertura (Figura 2). As coberturas que apresentaram os maiores valores de POXC foram TB (1.17 g kg^{-1}), AB (1.16 g kg^{-1}) e EC (1.16 g kg^{-1}). Novamente, o tratamento controle com vegetação espontânea (VE) registrou os valores mais altos de POXC (1,18 g kg^{-1}). No estrato subsuperficial, as diferenças de POXC entre as diferentes coberturas foram mais acentuadas do que na superfície. As coberturas NPP (1.16 g kg^{-1}) e TB (1.13 g kg^{-1}) apresentaram os maiores teores de POXC, enquanto o tratamento P registrou um valor consideravelmente menor, de 0.71 g kg^{-1}. Neste caso, os dois estratos de profundidade mostraram diferenças significativas nos teores de POXC ($p > 0.05$), com uma média de 1,11 g kg^{-1} na superfície e 1,00 g kg^{-1} na camada subsuperficial.

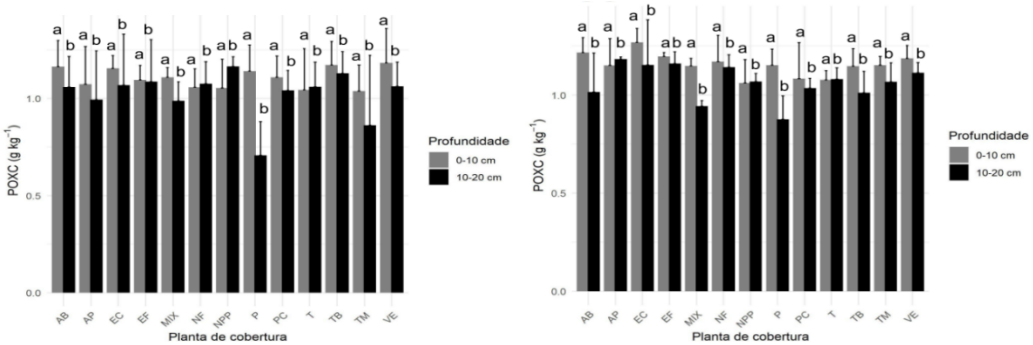


Figura 2. Médias e desvios padrão do teor de carbono oxidado por permanganato (g kg^{-1}) em agregados de 0.25 - 2 mm (à direita) e 2 - 8 mm (à esquerda) para todas as culturas de cobertura em duas profundidades (0-10 cm; 10-20 cm).

A classe de agregados de 2-8 mm (Figura 2) registrou os maiores teores de POXC entre todas as classes de agregados. Para essa classe, as coberturas EC (1.27 g kg^{-1}) e AB (1.22 g kg^{-1}) apresentaram os valores mais elevados de POXC na superficie. No estrato subsuperficial, em contraste, as coberturas EF (1.16 g kg^{-1}), NF (1.14 g kg^{-1}), EC (0.99 g kg^{-1}) e AP (0.92 g kg^{-1}) foram as que registraram os maiores teores de POXC. Os dois estratos de profundidade analisados mostraram diferenças significativas no conteúdo de POXC ($p < 0.001$), com valores médios de 1.14 g kg^{-1} na superfície e 1.02 g kg^{-1} na camada subsuperficial.

CONCLUSÕES

O teor de POX-C em agregados de solo não é afetado pelo uso de plantas de cobertura no SPDH em curto espaço de tempo, mesmo em relação ao sistema convencional. Contudo, entre camadas de solo há variações no conteúdo de POX-C nas classes de macroagregados médios e grandes, sendo os teores em 0-10 cm ligeiramente superiores aos da camada 10-20 cm.

AGRADECIMENTOS

À Capes, ao CNPq, à Universidade de Buenos Aires e ao CONICET (Argentina) pela concessão das bolsas de estudos. À Fundação Agrisus pelo financiamento do Projeto (PA 3698/23). Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C., SANTANA, D. P. (2001). Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 22, 208, p.25-36.

BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E.; MACHADO, P. L.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. (2009). The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO2 in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. Agriculture, ecosystems & environment, 132(3-4), 243-251.

CASTRO FILHO, C. D.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. (1998). Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22, 527-538.

CHAVEIRO, A. C.; BONINI, C.; FREITAS, P. G. N.; REIS, D. C.; OLIVEIRA, J. M. K.; SOUZA, J. A. L.; HIDALGO, G. F.; OLIVEIRA, A. B. 2022. Soil physical and chemical quality on no tillage cultivated with vegetables – A review. Research, Society and Development, 11, 9.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; FREEMAN, M. A.; SCHIPANSKI, M. E.; BENISTON, J.; LAL, R.; WANDER, M. M. (2012). Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. Soil Science Society of America Journal, 76(2), 494-504.

MAACK, R. (1981). Classificação do clima do Estado do Paraná. *In*: Geografia física do Estado doParaná. 2. ed. Rio de Janeiro,RJ: José. Olímpio, p. 442.

MELO, R. A. D. C.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. (2010). Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. Horticultura Brasileira: 28, 23-28.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for StatisticalComputing, 2023.

WANDER, M. (2004). Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. Pp. 67-102. *In:* K Magdoff & RR Weil (*eds*.) Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida, EE.UU.

WEIL, R.R.; ISLAM, K.R.; STINE, M.A.; GRUVER, J.B.; SAMSON-LIEBIG, S.E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. American Journal of Alternative Agriculture, 18:3–17.

YODER, R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses 1. Agronomy Journal, 28(5), 337-351.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

VARIAÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM MICROBACIA AGRÍCOLA DE GUARAPUAVA

Aline Marques Genú[1*], Ana Luiza Brandalise[2]
[1]Professora de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, *agenu@unicentro.br; [2]Estudante de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste

RESUMO

O carbono orgânico é fundamental no solo pois afeta outros atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo verificar a variação no teor de carbono orgânico em uma microbacia com uso agrícola. Para tanto foram amostrados 12 pontos, até 200 cm, em uma transeção do terreno. Verificou-se que há variação do teor de carbono em todos os terços do terreno, com os valores diminuindo com a profundidade e que os terços inferiores, em profundidade, apresentaram diferença no teor de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: Variabilidade; transeção; Latosso Bruno; qualidade do solo.

INTRODUÇÃO

O carbono orgânico do solo apresenta papel de grande importância nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, auxiliando na manutenção da qualidade do solo. Além disso, esse atributo é utilizado na classificação para distinção de solos orgânicos e minerais, dos diferentes tipos de horizontes diagnósticos de superfície e na definição de classes de solo.

No Brasil, devido ao elevado intemperismo os solos são normalmente ácidos, ricos em óxidos de ferro e alumínio e de baixa CTC de tal forma que o carbono passa a ser responsável por cerca de 75 a 85% da CTC dos solos tropicais (Siqueira Neto *et al*., 2009).

Entretanto, o carbono orgânico é um constituinte do solo sensível as alterações climáticas e de manejo agrícola e, por isso, deve ser considerada na avaliação do potencial produtivo do solo assim como na escolha das práticas de manejo a serem utilizadas (Silva *et al*., 2010).

Sabe-se que o teor de carbono diminui com a profundidade, no entanto pouco se sabe sobre a variação horizontal deste atributo no terreno, sendo seu conhecimento fundamental para a manutenção e monitoramento dos teores de carbono no solo nos sistemas de produção agrícola.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo verificar a variação, horizontal e vertical, no teor de carbono orgânico do solo, em uma microbacia hidrográfica com uso agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no Distrito de Entre Rios, município de Guarapuava – PR. A microbacia escolhida é caracterizada como típica da região, com propriedades rurais cuja principal atividade é o cultivo de milho e soja no verão e cereais no inverno, em sistema plantio direto.

A região apresenta clima classificado como temperado de altitude (Cfb) com temperatura média inferior a 18 °C no mês mais frio e inferior a 22 °C no mês mais quente, sem estação seca definida e geadas severas. A geologia é constituída de rochas intermediárias ácidas pertencentes ao Membro Guarapuava da Formação Covó, Grupo Serra Geral (Mineropar, 2013). O solo é classificado como Latossolo Bruno distrófico típico (Embrapa, 2007) de textura muito argilosa.

Para a realização do trabalho foram selecionados doze pontos, em uma transeção, observando-se imagens de satélite do local de estudo. Os pontos foram amostrados a cada 20 cm, até 200 cm de profundidade, utilizando-se trado holandês. Após, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Unicentro, para a determinação do teor de carbono orgânico de acordo com

Embrapa (2011). Para fins de avaliação, os pontos foram subdivididos em terços, sendo denominados como A – terço superior, B – terço médio superior, C – terço médio inferior e D – terço inferior do terreno.

Os resultados obtidos foram comparados, entre as profundidades de cada terço e as profundidades entre os terços, por meio de intervalo de confiança (IC). Quando não houve sobreposição entre os limites inferior e superior dos IC das médias ($p<0,005$) considerou-se que houve diferença significativa conforme Payton *et al*. (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de carbono orgânico foi maior nas camadas superficiais e diminuiu com o aumento da profundidade, em todos os terços avaliados (Figura 1). Silva *et al*. (2007) também observaram este comportamento em perfis de Latossolo do Sul de Minas Gerais assim como Chiapini (2021) estudando perfis de Latossolos em diferentes municípios do Paraná.

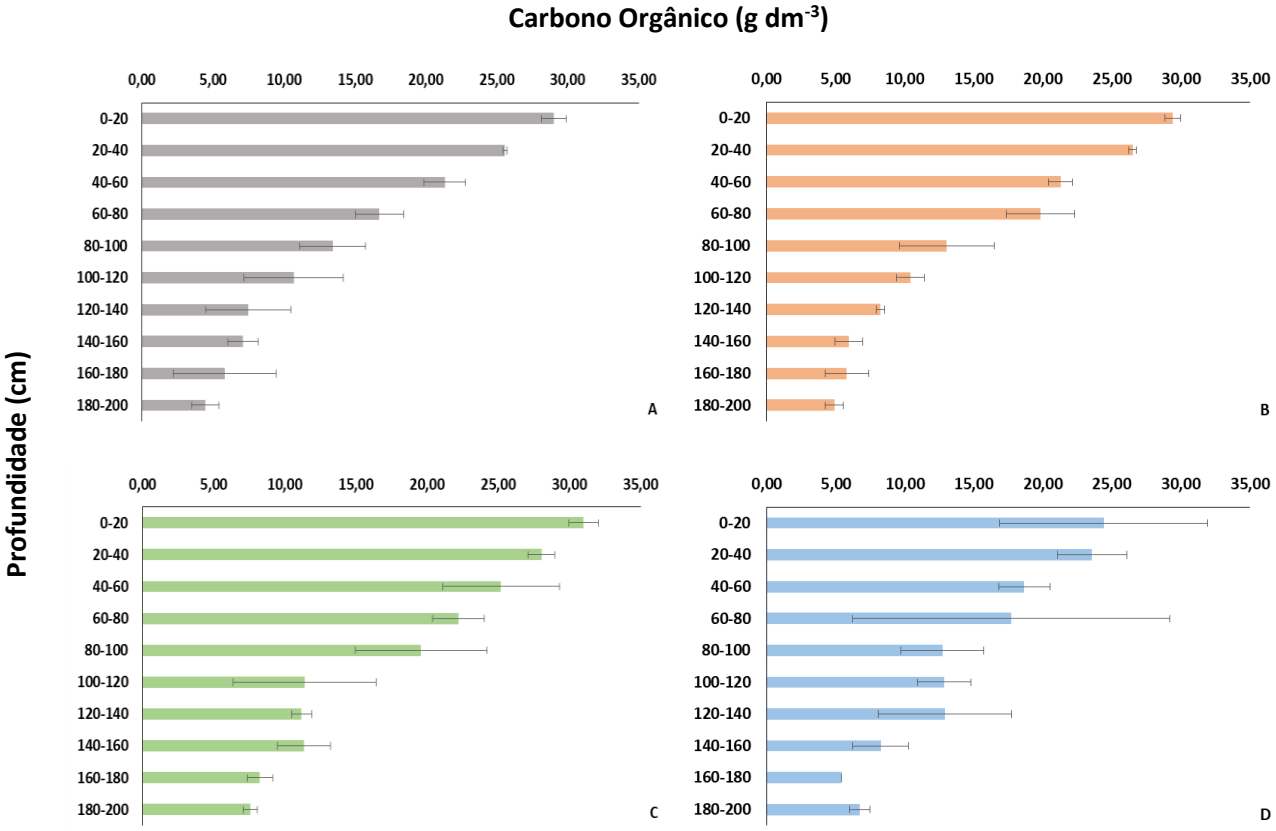


Figura 1. Distribuição dos teores médios de carbono orgânico, em profundidade, nos terços avaliados. A: Terço superior, B: Terço médio superior, C: Terço médio inferior, D: Terço inferior. Estatística por meio de intervalo de confiança entre as profundidades.

Os teores observados na transeção, com valores variando de 31,01 a 24,41 g dm^{-3} em 0-20 cm e de 7,58 a 4,45 g dm^{-3} em 180-200 cm, são considerados muito altos (> 20 g dm^{-3}) até 60 cm de profundidade (SBCS, 2019). Estes elevados teores são esperados para os Latossolos Brunos, uma vez que o clima mais frio da região de Guarapuava favorece o acúmulo de carbono e o desenvolvimento de epipedons húmicos mais espessos pela melanização (Calegari *et al*., 2013). Costa *et al*. (2004) observaram teores mais elevados em superfície, em estudo do conteúdo de carbono nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em Latossolo Bruno cultivado, por 21 anos, em sistemas de plantio direto, encontrando 44, 37,4 e 32,7 g dm^{-3}, respectivamente.

No terço superior (Figura 1A) foi verificada diferença entre os teores de carbono nas profundidades até 80 cm, enquanto no terço médio superior (Figura 1B) isso ocorre até 60 cm, no terço médio inferior até 40 cm (Figura 1C) e no terço inferior (Figura 1D) não se observa diferenças até 80 cm. Nas camadas subsuperficiais, especialmente abaixo de 140 cm, não se verificam diferenças, com exceção do terço médio inferior. Rahman *et al*. (2021) encontraram diferenças no teor de carbono até 80 cm de profundidade em solos da China enquanto Costa *et al*. (2004) não verificaram diferença até 20 cm.

Avaliando-se as distintas profundidades entre os terços do terreno (Figura 2), verifica-se que as diferenças foram poucas até 80 cm de profundidade, de 80 a 120 cm não foram observadas diferenças entre os terços e, abaixo disso, os terços médio inferior e inferior apresentam diferenças para os terços superiores.

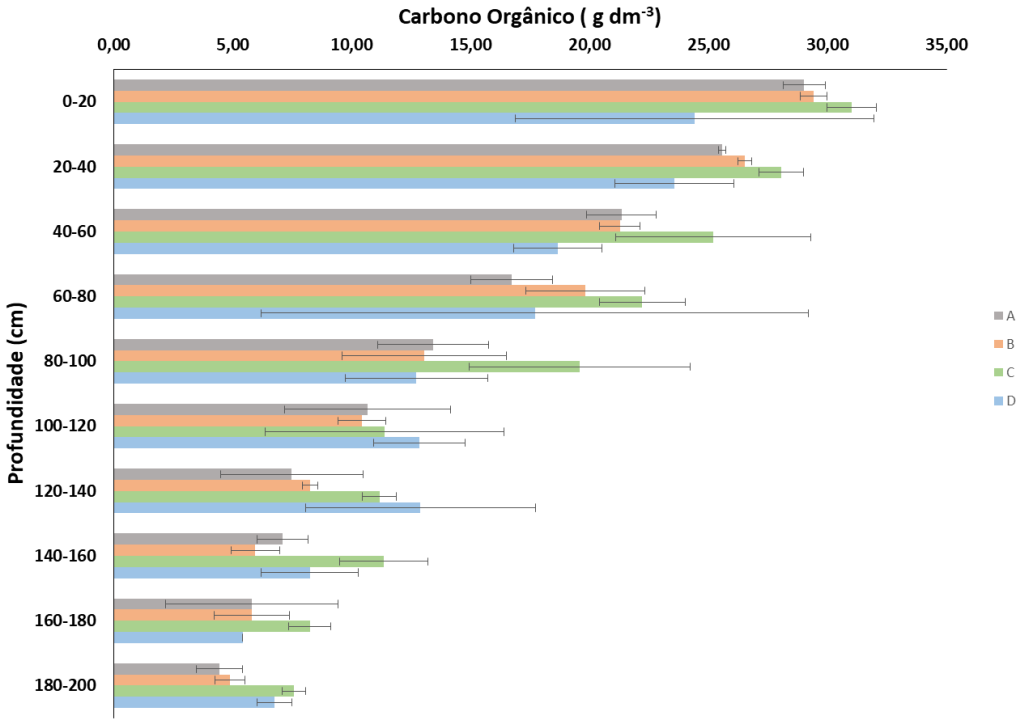


Figura 2. Distribuição dos teores médios de carbono orgânico em profundidade. A: Terço superior, B: Terço médio superior, C: Terço médio inferior, D: Terço inferior. Estatística por meio de intervalo de confiança entre os terços para cada profundidade.

Pinto *et al*. (2013) estudando o teor de carbono em uma topossequencia em Teixeira-PB verificaram que o terço médio inferior apresentou maior teor de carbono e diferença estatística para os demais terços avaliados. Segundo os autores, o resultado está relacionado ao carreamento mais fácil do carbono nas maiores elevações com consequente acúmulo nos pontos mais baixos. Fontana *et al*. (2014), avaliando três topolitossequências, observaram que para os solos derivados de basalto, os teores de carbono aumentaram do topo da encosta em direção à várzea, o que foi condicionado pela formação de complexos organominerais mais estáveis em função da composição granulométrica. No caso do presente estudo, não se tem uma declividade acentuada no terreno, sendo de cerca de 7%, no entanto, segundo Oliveira *et al*. (2015) pequenas variações no terreno afetam a decomposição da matéria orgânica e influenciam no regime hidrológico e sua ação sobre a dinâmica do carbono e a migração para áreas mais baixas do terreno.

CONCLUSÕES

Há variação horizontal do teor de carbono orgânico em todos os terços do terreno, com os maiores valores em superfície os quais decrescem com a profundidade enquanto a variação vertical foi observada, em especial, nas maiores profundidades, nos terços inferiores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo e Solos e Nutrição de Plantas da Unicentro e à Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO.

BIBLIOGRAFIA

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L. C. R.; MARQUES, F. A. Combinig phytoliths and δ^{13} C matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: an example of an oxisol in Brazil. **Quaternary International**, v. 287, p. 47-55, 2013.

CHIAPINI, M. **Long and short-term pedogenetic processes in ferralsols from magmatic province of Paraná, Brazil**. 2021. 189 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2021.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, 2004.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 230 p.

EMBRAPA. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 1 mapa color. Escala 1:250.000

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. DOS; SANTOS, A. C. DOS; BERNINI, T. A. Matéria orgânica de horizontes superficiais em topolitossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 221-229, 2014.

MINEROPAR. **O Grupo Serra Geral no estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2013. 452 p.

OLIVEIRA, E. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência &Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. ½, p. 71-93, 2015.

PAYTON, M. E.; MILLER, A. E.; RAUN, W. R. Testing statistical hypotheses using standard error bars and confidence intervals. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 31, n. 5&6, p. 547-551, 2000.

PINTO, E.N. F.; SILVA, J. E. R. DA; FERREIRA, C. D.; SOUSA, J. G.; MOREIRA, F. T. A.; SOUTO, P. C. Variação do carbono orgânico do solo em uma topossequencia no semiárido da Paraíba. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXXIV, Florianópolis, 2013. **Resumos** [...]. Florianópolis: SBCS, 2013.

RAHMAN, M.; ZHANG, K.; WANG, Y.; AHMAD, B.; ZHANG, Z.; KHAN, D.; MUHAMMAD, D.; ALI, A. Variations in soil physico-chemical properties, soil stocks, and soil stoichiometry under different soil layers, the major region Liupan Mountains of Norwest China. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e256565, 2024.

SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P.; GONZÁLEZ PÉREZ, M.; MARTIN NETO, L.; MACIAS VASQUEZ, F. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em topossequencia de Latossolos do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1059-1068, 2007.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. DE O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. *In:* Meurer, E. J. (ed). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf Ltda, 2010. p. 59-83.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C. DA; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SBCS. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2 ed. Curitiba: NEPAR-SBCS, 289 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERDAS DE NITROGÊNIO E CARBONO VIA ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM 17 ANOS DE APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO

Eduardo Silva Rissardi[1], Paloma Estefane Santana Ferreira[2], Luciane Lemos do Prado[3], Nerilde Favaretto[4], Gabriel Barth[5]

[1]Estudante de Agronomia da Universidade Federal do Paraná, eduardosilvatecno@gmail.com; [2]Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná; [3] Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná; [4]Professora Doutora no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná; [5]Pesquisador e Coordenador de Pesquisa, Fundação ABC.

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi avaliar as concentrações e as perdas de carbono e nitrogênio no escoamento superficial em sistema de plantio direto com a aplicação de dejeto líquido bovino por um período de 2.5 anos no município de Ponta Grossa - PR. As doses de dejeto aplicadas foram de 0, 60, 120 e 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, coletadas em recipiente plástico e levadas a laboratório para analisar nitrogênio e carbono em diferentes frações. Os dados obtidos no período de 2.5 anos não indicaram efeito da aplicação de dejeto líquido bovino na concentração e perda de nitrogênio e carbono via escoamento superficial, no entanto, esse resultado deve ser ponderado, considerando que a avaliação de apenas 2.5 anos em experimentos de campo com escoamento superficial, pode gerar resultados insuficientes para conclusões específicas.

PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica, nutrientes, fluxo superficial, poluição da água.

INTRODUÇÃO

A bovinocultura de leite brasileira teve produção estimada em 35,4 milhões de litros de leite, em que a Região Sul corresponde a 11,9 milhões de litros dessa produção. Em informativo com ranking dos estados brasileiros que mais produziram leite no ano de 2023, a cidade de Castro (PR) alcançou a primeira colocação com 4,5 milhões de litros de leite ao ano, fato que se deve a agricultura familiar que predomina na região (IBGE, 2023).

O modelo de confinamento do gado pode ser confinado e semiconfinado, que geram uma quantidade significativa de dejeto líquido bovino (DLB), aplicado no solo para melhorar seus atributos físicos, químicos e biológicos. Tendo em vista os benefícios obtidos pela aplicação do DLB no solo, é necessário atenção para evitar aplicações excessivas, que por meio do escoamento superficial podem chegar a corpos hídricos, ocasionando problemas ambientais e de saúde humana. Alta concentração de carbono orgânico (CO) na água está associada ao aumento da população de microrganismos e consequentemente redução do oxigênio dissolvido. No caso do nitrogênio (N), além da eutrofização dos ecossistemas aquáticos, que está também muito associada às altas concentrações de fósforo (P), pode ocasionar problemas de vida aquática e de saúde humana. O N em sua forma de nitrato (NO_3^-), pode ocasionar a síndrome do bebê azul, e o carbono orgânico solúvel, presente no processo de cloração, pode ocasionar câncer em seres humanos (Mellek, 2009; Timofiecsyk, 2012).

Estudos sugerem a tendência linear de aumento da concentração de nutrientes no escoamento superficial, à medida que são aplicadas maiores doses do dejeto (Mellek, 2009; Favaretto *et al*., 2022). No entanto, espera-se que através dos benefícios obtidos com DLB, ocorra a redução do escoamento superficial, e consequentemente menores perdas dos nutrientes presentes no solo via escoamento superficial.

Nesse contexto, o objetivo foi avaliar as concentrações e perdas de nitrogênio e carbono via escoamento superficial no período de 2.5 anos (2022-2024), em sistema plantio direto, sob chuva natural e com 17 anos de aplicação de DLB em um solo franco-argilo arenoso de Ponta-Grossa (PR).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de longo prazo foi instalado em novembro de 2005 na Estação Experimental da Fundação-ABC-PR, localizada em Ponta Grossa - Paraná, Brasil, com as seguintes coordenadas geográficas 25° 00' 32" S e 50° 09' 16" W, e altitude de 890m. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho, de textura franco argilo arenosa, com relevo suave ondulado. O clima do local é classificado como Cfb, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 17,5°C e precipitação anual média de 1495 mm (Favaretto *et al*., 2022).

Os tratamentos adotados receberam as doses de 60, 120 e 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLB e um tratamento controle, 0 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Utilizou-se o sistema de rotação de culturas em plantio direto, metade da dose de DLB foram aplicados no verão, cultura de soja e milho e metade no inverno, cultura do trigo e aveia.

O experimento em blocos ao acaso, com 4 repetições e 4 tratamentos, totalizando 16 parcelas, com 29,75 m^2 cada parcela. Na extremidade da parcela foi posicionada uma calha de zinco em formato triangular que direciona o escoamento superficial para um galão de 60 L. As amostras coletadas correspondem aos anos de 2022 a 2024, abrangem 5 safras e 9 eventos de precipitação. Após cada evento uma alíquota de pelo menos 0,5 L é coletada a partir do galão de 60 L e transferida para uma garrafa plástica e identificada com o número da parcela e a data do evento.

As concentrações de carbono orgânico total (COT) foram determinadas em amostra não filtrada por meio de titulação com $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2.6H_2O$ e $K_2Cr_2O_7$ (APHA, 2005). Para o carbono orgânico dissolvido (COD) foram obtidas a partir da amostra filtrada por combustão seca no analisador Elementar® Vario EL III (APHA, 2005). As análises de N, em suas frações nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) e amônio ($N\text{-}NH_4^+$) foram analisadas em amostra filtrada e nitrogênio total (NT) em amostra não filtrada. Para análises de $N\text{-}NO_3^-$ utilizou-se redução com Zn metálico e espectrometria no comprimento de onda de 210 nm (Heinzmann *et al*. 1984; Norman e Stucki, 1981). O $N\text{-}NH_4^+$ foi determinado pelo método do fenato e espectrometria no comprimento de onda de 640 nm (APHA, 2005). A determinação de NT foi realizada com digestão Kejldhal e leitura analisador Elementar® Vario EL III (APHA, 2005). A concentração do nitrogênio particulado (NP) foi obtida a partir da soma das concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ e $N\text{-}NH_4^+$ subtraídas da concentração do NT.

As concentrações (mg L^{-1}) das parcelas foram obtidas por meio das médias ponderadas de acordo com a equação 1 e as perdas dos nutrientes (g ha^{-1} ano^{-1}) de acordo com a equação 2.

Equação 1:

$$\text{Média ponderada} = \frac{\Sigma[X\ (mg\ L^{-1})] * Perda\ de\ água\ (L)}{\Sigma\ Perda\ de\ água\ (L)}$$

Equação 2:

$$\text{Perda acumulada} = \frac{\Sigma[X\ (mg\ L^{-1})] * Perda\ de\ água\ (L)}{29{,}75}\ /10000/2{,}5$$

Onde X igual a concentração dos nutrientes; Σ: somatório; 29,75: área da parcela (m^2); 10000: medida do hectare (m^2); 2,5: total de anos amostrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das concentrações e das perdas dos nutrientes analisados não diferem estatisticamente entre si (Tabela 1), o que indica não efeito da aplicação de dejeto líquido bovino. De acordo com Favaretto *et al*. (2022), era esperado que as concentrações aumentassem à medida que se aumenta a quantidade de DLB aplicado, e que as perdas por escoamento superficial deveriam diminuir conforme o acréscimo das doses. Esses autores observaram acréscimo das concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ e $N\text{-}NH_4^+$ de 17% e 28%, respectivamente. Com relação às perdas, os mesmos autores observaram uma redução de 38% e 32%, respectivamente, quando comparadas ao tratamento sem aplicação de dejeto e com a dose de 120 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLB. Silveira *et al*. (2011), observou uma redução de 20% nas concentrações de COT com a aplicação

da dose de 120 m^3 ha^{-1} ano^{-1} no escoamento superficial quando comparada com o tratamento controle onde não houve aplicação de dejeto. Já para esta mesma dose, os autores evidenciam que as perdas de COT foram reduzidas em 89%, devido às melhoras na qualidade estrutural e hidráulica do solo.

Tabela 1. Médias das concentrações ponderadas e das perdas do nitrogênio e carbono e suas frações no escoamento superficial no período de 2.5 anos em sistema plantio direto com aplicação consecutiva por 17 anos de doses de dejeto líquido bovino (DLB).

	$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+$	NT	NP	COD	COT
DOSE DLB (m^3 ha^{-1} ano^{-1})	CONCENTRAÇÕES (mg L^{-1})					
0	4,6	3,7	59,2	51,5	15,0	55,9
60	2,4	1,9	38,0	33,9	15,0	71,7
120	1,8	1,0	33,9	31,5	15,2	55,6
180	5,5	2,6	64,4	60,7	136,9	330,6
	PERDAS (g ha^{-1} ano^{-1})					
0	86	81	1293	1126	299	230
60	41	39	691	611	222	122
120	24	19	583	541	205	521
180	23	13	624	589	295	841

Notas: análise de variância não indicou diferença significativa a 5% de probabilidade em nenhum dos parâmetros avaliados. Abreviações: $N\text{-}NO_3^-$ = nitrogênio na fração nitrato; $N\text{-}NH_4^+$ = nitrogênio na fração amônia; NT = nitrogênio total; NP = nitrogênio particulado; COD = carbono orgânico dissolvido; COT = carbono orgânico total.

CONCLUSÕES

Os dados obtidos no período de 2.5 anos não indicaram efeito da aplicação de dejeto líquido bovino na concentração e perda de nitrogênio e carbono via escoamento superficial, no entanto, esse resultado deve ser ponderado, considerando que a avaliação de apenas 2.5 anos em experimentos de campo com escoamento superficial, pode gerar resultados insuficientes para conclusões específicas. Cabe ressaltar que este experimento continua sendo conduzido e o banco de dados será significativamente aumentado

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Paraná, pela formação acadêmica e pelo acolhimento em uma instituição pública. A mestranda Paloma Estefane Santana Ferreira pela paciência, empatia, compreensão e o auxílio na elaboração deste resumo. As doutorandas Luciane Lemos do Prado e Fabiana Gavelaki pela ajuda e treinamento para realizar as análises de laboratório. A Professora Nerilde Favaretto pela oportunidade e pelas iluminações acerca da elaboração deste resumo. Ao Gabriel Barth e a Fundação-ABC pela ajuda com a instalação, condução e coleta das amostras do experimento. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento deste projeto.

BIBLIOGRAFIA

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, Washington, ed. 19, 1999.

FAVARETTO, N.; CHEROBIM, V. F.; SILVEIRA, F. M.; TIMOFIECSYK, A.; SKALITZ, R.; BARTH, G.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M. 2022. **Can application of liquid dairy manure onto no-tillage oxisols reduce runoff, sediment, phosphorus, and nitrogen losses over 9 years of natural rainfall?** doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115406.

HEINZMANN, F. X.; MIYAZAVA, M.; PAVAN, M. A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 8, p. 159-163, 1984.

MELLEK, J. E. **Dejeto líquido bovino e alterações em atributos físicos e estoque de carbono de um latossolo sob plantio direto.** 2009. 49 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2009.

NORMAN, R. J.; STUCKI, J. W. **The determination of nitrate and nitrite in soil extracts by ultraviolet spectrophotometry.** doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500020024x.

SILVEIRA, F. M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SILVA, E. D. B. Dejeto líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 35, n. 5, 2011.

TIMOFIECSYK, A.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J. Perdas de carbono e nitrogênio com aplicação de dejeto líquido bovino em latossolo muito argiloso sob plantio direto e chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 36, n. 6, 2010.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM CULTIVO DE ERVA-MATE COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA

José Carlos Romanchuk[1], Murilo Girolimetto Kohler[1], Delmar Santin[2], Josileia Acordi Zanatta[3], Eliziane Luiza Benedetti[4]

[1] Estudantes de Agronomia Instituto Federal de Santa Catarina-Câmpus Canoinhas *josecarlosromanchuk@gmail.com; [2]Produtor e consultor[3]; Pesquisadora Embrapa Florestas; [4]Professora e pesquisadora do IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina.

RESUMO

A erva-mate é um dos principais componentes dos sistemas agroflorestais, com potencial para estocar carbono. Entretanto, são poucas as estimativas de estoque de carbono nos solos cultivados com erva-mate. Diante disso, o estudo objetiva analisar o estoque de carbono no solo do cultivo de erva-mate com adubação orgânica. Avaliou-se o estoque de carbono do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-100 cm em erva-mate de oito anos conduzida nos tratamentos, T1: sem adubação, T2: dose recomendada e T3: dose 75 % acima da recomendada, para suprir fósforo e nitrogênio, utilizando como fonte cama de frango. Nas profundidades de 5-10 e de 10-20 o T2 apresentou menor estoque em relação aos demais tratamentos. As demais profundidades não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. O manejo de adubação orgânica em cultivo de erva-mate altera o estoque de carbono nas camadas superficiais do solo.

PALAVRAS-CHAVE: *Illex paraguariensis;* sequestro de carbono; cama de aves.

INTRODUÇÃO

A erva-mate *(Ilex paraguariensis*) é um dos principais componentes dos sistemas agroflorestais do Sul do Brasil, esses sistemas melhoram o uso e disposição dos recursos produtivos, onde seu modo de cultivo integra a Floresta Ombrófila Mista, que serve como estratégia para ciclagem de nutrientes, a conservação do solo e geração de renda.

No Brasil tem aumentado a utilização da adubação orgânica, o que impacta em mudanças significativas na fertilidade dos solos (Pereira *et al*., 2013), na produtividade da cultura e na sua capacidade de estocar carbono. Entretanto, ainda são poucas as estimativas de quantificar os estoques de carbono nos solos do Brasil cultivados com erva-mate, assim, há falta de informações sobre a quantidade de carbono em diferentes manejos e regiões (BRASIL, 2007).

A entrada de carbono orgânico no solo ocorre por meio da deposição e decomposição da biomassa vegetal e animal, sendo folhas, raízes, resíduos da exploração da cultura e animais mortos. Essa maneira é a principal forma para a transferência de carbono e nutrientes da planta para o solo (Denardin *et al*., 2014). Ademais, a disposição inadequada de resíduos orgânicos pode gerar graves impactos ao meio ambiente, com isso, tornando-se essencial o seu manejo sustentável. A adubação orgânica surge como uma alternativa economicamente viável para reintegrar carbono ao solo, reduzindo as emissões de CO_2 e promovendo melhorias edáficas ao solo (Finatto *et al*., 2013).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo analisar a influência da adubação orgânica em cultivo de erva-mate no estoque de carbono do solo em profundidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Instituto Federal de Santa Catarina, em Canoinhas-SC, em latitude 26°11'0.37"S longitude 50°22'9.66"O com classificação climática segundo Köppen de Cfb-Temperado (mesotérmico úmido e verão ameno), com temperatura média anual de 17-18 °C, precipitação média anual de 1500-1700 mm (EPAGRI, 2003).

Em 2016 foi realizado o plantio de erva-mate na densidade de 1.886 pl/ha. A partir disso foi instalado o experimento com adubação orgânica, no delineamento de blocos casualizados, com 4 blocos e 3

tratamentos, sendo T1: sem adubação, T2:dose recomendada e T3: dose 75 % acima da recomendada, para suprir fósforo e nitrogênio. No último ciclo de adubação, período de 1,5 anos que antecedeu as coletas, a dose recomendada foi de 235 kg/ha de N e 54 kg/ha de P_2O_5, resultando na aplicação de cama de frango equivalente a 2,6 t/ha para o T2 e 4,5 t/ha no T3. As doses de adubação foram determinadas a partir da análise de solo e considerando a necessidade da cultura (Santin, 2015) e do teor de nutrientes contidos na cama de aviário. A dose total foi parcelada em 3 aplicações no período entre safras de 1,5 anos, com a dose sendo distribuída em superfície, sem incorporação, a 60 cm do caule da planta. O cultivo é mantido com gramínea perene (grama sempre verde) como cobertura verde.

Em agosto de 2024, oito anos após a instalação do experimento, realizou-se a coleta de amostras de solo na área da projeção da copa. Em cada tratamento, foram abertas quatro mini trincheiras e coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-100 cm. Para todas as profundidades, exceto de 50-100, foram retirados dois anéis volumétricos para determinação da densidade do solo. As amostras de solo foram secas ao ar, moídas finamente (0,1mm) para análise total de C, determinado por combustão seca, em analisador de CHNS (Nelson e Sommers, 1982). Para a estimativa de estoque foi considerada a concentração de C pela massa de solo contida em cada camada. A massa de solo foi estimada pela relação de massa e volume do solo, dada pela densidade aparente medida.

Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade e normalidade, e aceitos seus pressupostos, foram submetidos à Anova e teste de Média (Tukey), utilizando o Software estatístico R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou efeito significativo ($p<0,10$) no estoque de carbono no solo apenas para profundidade de 5-10 e 10-20 cm. Para as demais profundidades não se observou diferença significativa. Para as profundidades 5-10 e 10-20 observou-se comportamento similar, nos tratamentos T1 e T3, com T2 sendo igual a T1 para a profundidade de 5-10 e igual a T3 na profundidade de 10-20 (Figura 1). O efeito não significativo em superfície pode ser atribuído à rápida mineralização dos resíduos vegetais (serapilheira do resíduo orgânico) em condições de verão quente e úmido (Steiner, 2012), como é o caso da região do Planalto Norte Catarinense. A condição de elevada umidade combinada com temperatura pode contribuir com a aceleração da atividade microbiana, que atua sobre o material vegetal adicionado ao solo, decompondo-o. Esse processo deve acontecer também no sistema sem adubação, onde a fonte de material vegetal são o crescimento da grama e a queda de folhas da erva-mate. Steiner (2012), cita que nos trópicos, a introdução de sistemas agrícolas em áreas com vegetação nativa resulta, geralmente, numa rápida perda de C orgânico, em virtude da combinação entre calor e umidade.

Outro fator que também deve contribuir na explicação desses resultados é a fonte orgânica estar contribuindo para acelerar a atividade microbiana do solo, assim como visto por Lima (2018). A microbiota age decompondo o resíduo orgânico adicionado, mas também atua sobre a matéria orgânica do solo (MOS), que em grande parte é composta de carbono, fazendo com que se acentue a mineralização da MOS e explique a tendência de redução do estoque de carbono nos tratamentos com adubação. De forma geral, mesmo com a maior dose de adubo orgânico adicionada, juntamente a restos culturais e naturais, os resultados evidenciam um teor de carbono pouco modificado nas camadas superficiais e tendência de menores valores na dose recomendada (T2). Outro aspecto a ser considerado é a idade do sistema produtivo, que está sendo conduzido por 8 anos nesse manejo de adubação orgânica. Como a matéria orgânica do solo é um componente com forte interação organomineral e estabilizada também por proteção física, pode ser tempo insuficiente para que diferenças significativas sejam observadas nos diferentes tratamentos. Assim, considerando o potencial produtivo da cultura, as doses aplicadas foram menores no início do ensaio e reajustadas para atender a reposição de nutrientes da colheita de erva-mate atualmente, proporcionando uma dose total ao longo de 8 anos, insuficiente para modificações expressivas entre os tratamentos. Como

há indícios de redução no estoque de carbono do tratamento T2, sugere-se avaliar as frações da MOS e continuar monitorando os estoques de carbono totais em períodos mais longos.

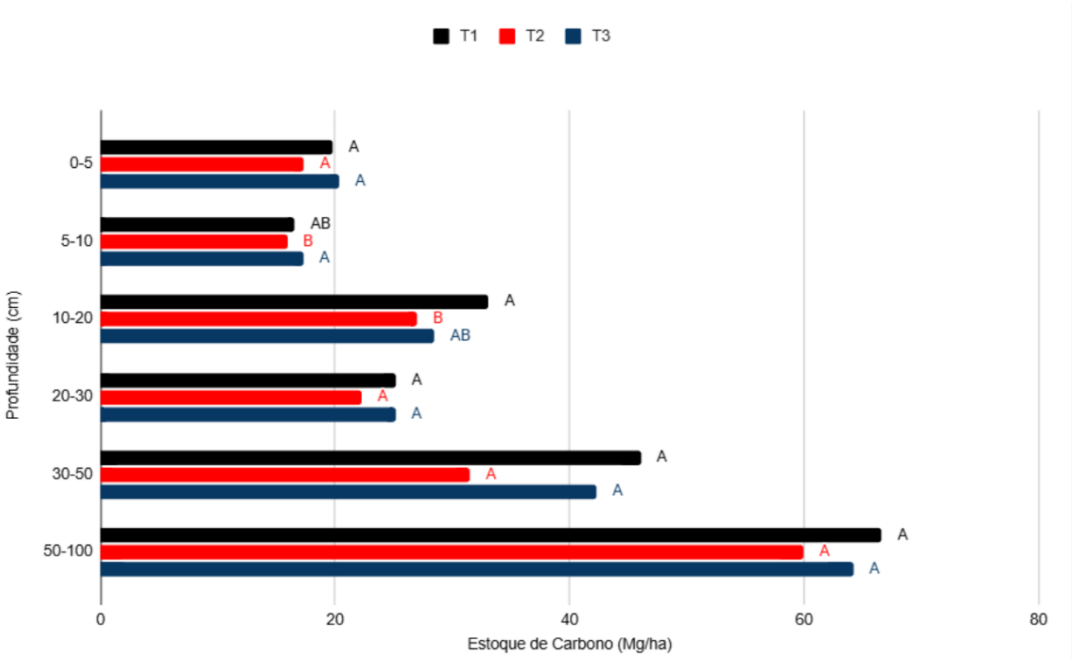


Figura 1. Estoque de carbono em profundidade no solo cultivado com erva-mate com doses de adubação orgânica. Média seguida por mesma letra maiúscula não difere entre tratamentos na mesma profundidade a 5 % de probabilidade.

CONCLUSÕES

O manejo de adubação orgânica em cultivo de erva-mate altera o estoque de carbono nas camadas superficiais do solo.

AGRADECIMENTOS

A Embrapa Florestas pela parceria para a condução deste estudo. Aos recursos e bolsas disponibilizadas pelo Edital 03/2024/PROPPI/DAE.

BIBLIOGRAFIA

AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II – Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1085-1096, 2003.

BRASIL, Estoque de carbono nos solos do Brasil. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2007, (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos. ISSN 1678-0892, 121.

DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. P.; NESI, C. N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J.; CERUTTI, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó-SC, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, jan.-mar., 2014.

EPAGRI, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, **Canoinhas Caracterização Regional**, 2003. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/diagnostico/CANOINHAS.pdf Acesso em: 03 fev 2025.

FINATTO, J.; ALTMAYER, T.; MARTINI, M. C.; RODRIGUES, M.; BASSO, V.; HOEHNE, L. A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura. **Revista destaques acadêmicos**, V.5, n. 4, 2013 - CETEC/UNIVATES.

LIMA, B. C.; ARAUJO, F. F. Avaliação sobre a redução da atividade microbiana na adubação orgânica e sua influência no crescimento do milho e respiração do solo. **Colloquium Agrariae**. v. 14, n.3. Jul./Set. 2018, p.24-30

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, 329-334, 2005.

PEREIRA, D. C.; NETO, A. W.; HELENA, L.; NÓBREGA, P. Adubação orgânica e algumas aplicações agrícolas. **Scientia Agraria**, v. 3, n. 02 , jul.-dez, 2013. p. 159-174.

MARCOS, D. P.; SANQUETTA, C. R.; FRIEDRICH, F.; CORTE. A. P. D. Compartimentação do estoque individual de carbono em uma plantação comercial de erva-mate (*Ilex paraguariensis A. St.- Hil.*) **Biofix Scientific Journal** v. 5 n. 2 p. 168-173, 2020.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In:* PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (ed.). Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. Part 2. 2nd ed. Madison: ASA; SSSA, 1982. p. 539-579.

STEINER, F. Estoque de carbono orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2775-2788, 2012. Disponível em: Estoque de carbono orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil | Semina: Ciências Agrárias. Acesso em: 20 fev.2025.

SANTIN, D.; WENDLING, I. **Nutrição e recomendação de adubação e calcário para a cultura da erva-mate**. Propagação e nutrição de erva-mate. Brasília: Embrapa, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS ESTOQUES DE CARBONO NO TEMPO EM DIFERENTES SISTEMAS DE ROTAÇÕES DE CULTURA EM LONDRINA-PARANÁ

Lucas Pereira Scheidt Feltz[1*], Milena Santos de Oliveira[2], Dephiny Victoria de Mello Carneiro[3], André Luiz Oliveira de Francisco[4], Josiane Burkner dos Santos[5]

Bacharel em Agronomia, Unicesumar[1], Acadêmica de Agronomia – Unicesumar, Bolsista IDR-Paraná[2]. Acadêmica de Agronomia – Anhanguera, Bolsista IDR-Paraná[3]. Doutor em Agronomia, analista IDR-Paraná[4]. Doutora em Agronomia, Pesquisadora IDR-Paraná[5]. [*]lucasscheidtfeltz@gmail.com

RESUMO

O Sistema de Plantio Direto (SPD) no Brasil começou nos anos 60 e se baseia na rotação de culturas e na preservação da matéria orgânica do solo, essencial para sua fertilidade. O estudo analisou os estoques de Carbono Orgânico Total (COT) em diferentes sistemas de rotação de culturas (SRC) sob SPD em Londrina-PR. O experimento, iniciado em 2014, avaliou seis tipos de rotação ao longo de 9 anos. Os resultados indicaram que, apesar de não haver diferenças estatísticas entre os tratamentos, o Sistema Agroenergia (TAE) mostrou maior eficiência na retenção de carbono. O acúmulo de carbono foi mais evidente nas camadas superficiais do solo, onde ocorre a maior deposição de resíduos vegetais. Os tratamentos Produtor Melhorado (TPM) e Diversificado Intensivo (TDI) demonstraram maior estabilidade ambiental no decorrer do tempo. A continuidade do estudo é essencial para obter dados mais robustos sobre o comportamento e a retenção de carbono total no solo.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de plantio direto; matéria orgânica; sistemas de produção.

INTRODUÇÃO

O Sistema de Plantio Direto (SPD) iniciou no Brasil no final da década de 60, na Região sul do país. De acordo com Sá (2020) esse sistema se baseia principalmente na rotação de culturas e na preservação dos resíduos derivados das culturas antecessoras para a proteção do solo. O SPD possui associação direta com a manutenção dos teores de carbono orgânico do solo, nos solos subtropicais e tropicais, onde 70 a 90% dos nutrientes consumido pelas plantas advém do que está adsorvido na matéria orgânica, portanto é de grande importância a manutenção e aumento dos estoques da matéria orgânica do solo, pois melhora a qualidade do solo e a sua fertilidade (SILVEIRA e STONE, 2001).

O Sistema de rotação de cultura (SRC) pode ser definida como a prática de alternar ordenadamente diferentes tipos de culturas em um espaço de tempo específico, dentro da mesma área e na mesma estação do ano (FRANCHINI *et al*., 2011). O revezamento de culturas auxilia no aprimoramento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, resultando em uma melhor estrutura do solo, por conta das características morfológicas, ciclo e resistência a pragas e doenças. Isso ocorre devido à adição de matéria orgânica, mas é também pela porosidade biológica que as raízes das culturas criam (BARRETO *et al*.,2006).

A compreensão do comportamento das diferentes frações da matéria orgânica do solo possibilita o entendimento e o uso dessas informações para como indicadores do comportamento dos solos, que podem sinalizar o nível da qualidade do solo ao longo do ciclo de cultivo. As plantas de cobertura exercem uma influência direta nos conteúdos de carbono orgânico total (COT) no solo, devido contribuírem para o aumento da produção de biomassa tanto na parte aérea quanto nas raízes (AGUIAR, 2022).

No presente trabalho o objetivo foi avaliar o comportamento dos estoques de Carbono Orgânico Total (COT) e a variação temporal da porcentagem da MOS em diferentes SRC sob SPD em Londrina – PR..

O experimento foi instalado na Estação Experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER, no município de Londrina – PR. O solo classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico típico, textura argilosa, (BHERING; SANTOS, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na safra de verão 2013-14 em área experimental de 18.000 m² que vinha sendo conduzida em SSD há 11 anos, onde no inverno era cultivado aveia preta e no verão milho e soja de forma alternada. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com seis sistemas de rotação de culturas, sendo denominados de Produtor Local, Produtor Melhorado, Máxima Palhada, Agroenergia, Comercial Intensivo e Diversificado Intensivo, contendo quatro repetições cada em parcelas de 300 m².

O Tratamento "Produtor" (TPR) local busca demonstrar o sistema de rotação de culturas mais usual entre os produtores na região de Londrina. O Tratamento "Produtor Melhorado" (TPM) busca oferecer uma alternativa de produção de commodities de interesse ao produtor, dando opções com outras culturas que venham a melhorar a condição do solo ou ainda servirem de produto de venda ao produtor. O Tratamento Máxima Palhada (TMP) é uma rotação para o produtor que pretende recuperar os níveis de MOS por oferecer uma rotação que favorece uma grande produção de palhada e variedade de espécies favorecendo a microbiota do solo.

O Tratamento Agroenergia (TAE) é uma rotação que insere espécies vegetais que podem ser usadas nos parques industriais já existentes para a produção de bioenergia ou outros produtos como óleos. O Tratamento Comercial Intensivo (TCI) busca a intensificação de espécies de interesse comercial, permitindo ao produtor ter várias culturas de fácil comercialização para a maximização da lucratividade. O Tratamento Diversificado Intensivo (TDI) é uma rotação focada na diversidade de espécies e produção de palhada, buscando a ocupação intensiva do solo pelas culturas.

As amostras deformadas de solo foram coletadas nas profundidades de 0,0-0,1 m, e 0,1-0,2 m para avaliação dos estoques de COT e para a análise da variação temporal. As amostras coletadas foram secas em estufa de ar forçado a 60 °C até peso constante (SANTOS, 2006). As amostras foram analisadas no Laboratório de Solos do Polo de Pesquisa do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER, sediado no município de Ponta Grossa – PR. Os resultados obtidos de COT foram submetidos à ANOVA (teste F) e as diferenças entre médias foram comparadas através do teste de Tukey ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a Tabela 1, pode-se observar que não houve diferenças estatística para o COT dentro de cada tratamento para os três ciclos. Os tratamentos tiveram valores muito próximos fazendo com que as diferenças entre as rotações não sejam evidenciadas. Para os três ciclos o TAE se sobressaiu em relação as demais rotações, sendo a rotação mais eficiente para elevar os estoques de COT, no entanto o tempo de cultivo de apenas 09 anos ainda é curto para demonstrar estatisticamente que existem diferenças entre os tratamentos.

Corroborando o que foi encontrado pelos autores Sá *et al* (2001) e Santos (2010), verificamos que as diferenças no teor de MOS ao longo do perfil amostrado, sendo que nas camada mais superficial (0-10 cm) houve maior acúmulo de carbono quando comparado com a camada de maior profundidade, observamos na tabela 1 para todos os ciclo que o estoque de COT foi maior nas camadas mais superficiais do solo, devido à grande influência da deposição natural dos resíduos culturais sobre a superfície e a cobertura permanente do solo com palhada dos diferentes sistema de rotação de cultura.

O acúmulo de carbono orgânico no solo em sistemas de consorciação de culturas sob Sistema de Semeadura Direta (SSD) ocorre predominantemente nas camadas mais superficiais do solo, devido à concentração de resíduos vegetais depositados na superfície. Essa ocorrência é explicada pela deposição

superficial dos resíduos, associada a uma menor taxa de instabilidade decorrente da ausência de revolvimento do solo. Além disso, a maior concentração de raízes nessa camada, especialmente de plantas da família Poaceae, contribui para a manutenção e incorporação da matéria orgânica, favorecendo a estabilização do carbono no solo.

Tabela 1. Comparação de estoques de Carbono Orgânico Total (COT) de 2014 a 2023 entre diferentes rotações em Londrina-Paraná.

	Marco Zero (2013)		Final do Primeiro ciclo (2017)		Final do Segundo ciclo (2020)		Final do Terceiro ciclo (2023)	
	0,0 - 0,1 m	0,1- 0,2m	0,0 - 0,1 m	0,1- 0,2m	0,0 - 0,1 m	0,1- 0,2m	0,0 - 0,1 m	0,1- 0,2m
Produtor Local	19,62	16,60	24,26*	17,77*	24,24*	17,70*	19,82*	14,79*
Produtor Melhorado			23,42*	17,88*	23,31*	17,81*	21,40*	15,82*
Máxima Palhada			24,77*	16,49*	24,66*	16,42*	19,79*	14,09*
Agroenergia			25,30*	18,40*	25,18*	18,33*	22,10*	16,54*
Comercial Intensivo			25,05*	18,21*	24,94*	18,14*	19,45*	15,20*
Diversificado Intensivo			23,96*	18,04*	23,84*	17,97*	21,04*	15,44*

*não significativo. Fonte: os autores (2024).

Observa-se na Tabela 2, que a fração COT apresentou na camada 0-10 cm estoques semelhantes estatisticamente entre si nos anos 2017 a 2020 em todos os tratamentos, no entanto esses estoques foram estatisticamente menores no ano de 2023 nos tratamentos TP, TAE, TCI, TMP, e semelhantes aos anos de 2017, 2020 nos tratamentos TPM e TDI. É preciso ressaltar que esses resultados demonstram que as rotações TPM e TDI tem estoques mais constantes e, portanto, com menores perdas destes para o meio ambiente, sendo assim as rotações que apresentam maior capacidade e potencial de estabilidade ambiental nesta região.

Tabela 2. Comparação de estoques de Carbono Orgânico Total (COT) de 2017 a 2023 entre os anos dentro das diferentes rotações em Londrina-Paraná.

Ano	Produtor Local	Agroenergia	Produtor Melhorado	Comercial Intensivo	Máxima Palhada	Diversificado Intensivo
				0,0 - 0,1 m		
2017	24,26 (a)	25,30 (a)	23,42 (a)	25,05 (a)	24,77 (a)	23,96 (a)
2020	24,40 (a)	28,18 (a)	23,31 (a)	24,94 (a)	24,66 (a)	23,84 (a)
2023	19,82 (b)	22,10 (b)	21,40 (a)	19,45 (b)	19,79 (b)	21,04 (a)
Ano	Produtor Local	Agroenergia	Produtor Melhorado	Comercial Intensivo	Máxima Palhada	Diversificado Intensivo
				0,1- 0,2m		
2017	17,77 (a)	18,40 (a)	17,88 (a)	18,21 (a)	16,49 (a)	18,04 (a)
2020	17,70 (a)	18,33 (a)	17,81 (a)	18,14 (ab)	16,42 (a)	17,97 (a)
2023	14,79 (a)	15,44 (a)	15,82 (a)	15,20 (b)	14,09 (a)	16,54 (a)

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os tratamentos TPR e TAE apresentaram valores menores na camada de 0 a 10 cm, provavelmente em função destes tratamentos ter menores números de espécies da família das Poáceas quando comparados aos tratamentos TPM e TDI.

O tratamento TCI diminuiu nas duas camadas avaliadas, podemos observar que nesta rotação a predominância de 5 espécies de culturas que tem raízes predominantemente superficiais (2 vezes trigo mourisco, 2 vezes soja, feijão) contra apenas três espécies com raízes profundas (milho e aveia preta), onde os resultados demonstraram perdas tanto superficiais quanto em profundidade dos estoques de C.

TMP diminuiu na camada 0-10, nesta rotação houve entrada de 5 culturas Poáceas e 2 culturas de Fábaceas, para termos a maior produção de massa, no entanto nestes 9 primeiros anos os valores de C não aumentaram significativamente na camada superficial, provavelmente por ter apenas duas Poáceas de

verão, que não foram suficiente para aumentar significativamente os estoques de C na camada superficial.

Os tratamentos TPM e TDI não apresentaram diferenças estatísticas nas duas camadas analisadas, é preciso ressaltar que o TPM tem 4 Poáceas e 2 Fabáceas, e o TDI tem 5 Poáceas, 2 Fabáceas e 1 Crucífera. Observamos que apesar de ter maior número de Poáceas o TDI não conseguiu ter resultados estatisticamente significativo com aumentos de estoque de carbono, esses resultados podem ser tanto decorrente do fator ambiental quanto da equivalência do comportamento de ambos na produção de massa residual. A rotação TPM teve 4 períodos de produção com Poáceas e o TDI teve 3 períodos, no entanto foram equivalentes em seu comportamento, esses resultados podem ser derivados de uma maior produção de massa e menores taxas de decomposição do plantio milho+braquiária.

Todos os estoques de 2023 foram em números absolutos menores, fato que é provavelmente resultado do fator ambiental, foram os anos de 2021 e 2022 anos de seca e de alta precipitação pluviométrica concentrada respectivamente, fato que pode ter afetado esses resultados que apresentaram comportamento semelhante em todos os tratamentos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que, apesar da ausência de diferenças estatísticas nos estoques de Carbono Orgânico Total (COT) entre os diferentes ciclos avaliados, a rotação TAE se destacou como a mais eficiente para o acúmulo de carbono no solo. No entanto, o período de 09 anos de cultivo ainda é relativamente curto para evidenciar estatisticamente variações significativas entre os tratamentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq e a Fundação Araucária, pelo apoio financeiro, ao IDR-Paraná, pela infraestrutura, pessoal e apoio proporcionado ao longo desta jornada. Agradeço aos meus orientadores, aos meus colegas de pesquisa e amigos, agradeço pela troca constante de ideias, pelas discussões construtivas e pelo ambiente colaborativo.

BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, L. O. **Carbono e nitrogênio particulados em solo cultivado com cafeeiro consorciado com plantas de cobertura**. 2022.

BARRETO, A. C. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, 2006.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agronômico do Paraná, 2008. 74 p.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja; 2011.

SÁ, J. C. M. *et al*. Soil carbon fractions and biological activity based indices can be used to study the impact of land management and ecological successions. **Ecological Indicators**, v. 84, p. 96-105, 2018.

SANTOS, J. B. **Alterações no estoque e taxa de sequestro de carbono em um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo**. 2006. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. **Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo**. 2001.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE DOS ESTOQUES DE CARBONO EM DIFERENTES ROTAÇÕES DE CULTURAS NA REGIÃO DE UMUARAMA - PR

Dephiny Victoria de Mello Carneiro[1*], Lucas Pereira Scheidt Feltz[2], Milena Santos de Oliveira[3], André Luiz Oliveira de Francisco[4], Josiane Burkner dos Santos[5]

[1]Acadêmica Bacharel em Agronomia, (Anhanguera); [2]Bacharel em agronomia; [3]Acadêmica Bacharel em agronomia (Unicesumar); [4]Doutor em Agronomia; [5]Doutora em Agronomia e Pesquisadora IDR-PARANÁ *dephinymello13@gmail.com*

RESUMO

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma prática conservacionista que melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo, neste estudo avaliamos os estoques de carbono orgânico total (COT) em diferentes sistemas de rotação de culturas na região de Umuarama-PR, caracterizada por solos frágeis de baixa concentração de argila. Os resultados indicaram que os estoques de COT foram superiores na camada superficial do solo, reforçando a importância do SPD na manutenção da matéria orgânica. No entanto, ao longo dos anos, todos os tratamentos apresentaram perdas de COT, possivelmente devido a fatores climáticos e à limitação das rotações testadas. A rotação TAE se destacou por minimizar essas perdas, evidenciando que a diversificação de culturas contribui para a sustentabilidade do solo. Conclui-se que a adoção de práticas conservacionistas e sistemas de rotação diversificados são fundamentais para a manutenção da qualidade do solo a longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: sistemas conservacionista de produção, solos frágeis, Intensificação de rotações**.**

INTRODUÇÃO

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é considerado uma das maiores inovações tecnológicas na agricultura das últimas cinco décadas, o SPD revolucionou as práticas agrícolas, promovendo maior sustentabilidade e eficiência no uso do solo. O SPD tem três princípios o não revolvimento do solo, manutenção do solo permanentemente coberto e rotação de culturas, segundo Franchini *et al*. (2011), a rotação de culturas é uma prática conservacionista que consiste na alternância de diferentes espécies vegetais em uma mesma área ao longo do tempo. Com o passar do tempo, o Sistema de Plantio Direto (SPD) melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para sua qualidade e sustentabilidade. Além disso, essa prática agrícola favorece o aumento da produtividade das culturas, tornando o sistema mais eficiente e resiliente. Nos manejos conservacionistas do solo, a Matéria Orgânica do Solo (MOS) desempenha um papel fundamental nos processos que ocorrem no ambiente edáfico, contribuindo significativamente para a melhoria de seus atributos físicos, químicos e biológicos. O manejo adotado influência diretamente os teores de carbono no solo, sendo que diversos fatores, como condições climáticas, material geológico de origem, relevo e a natureza dos resíduos orgânicos incorporados, impactam os conteúdos e estoques de carbono. No entanto, as práticas de manejo adotadas no sistema de cultivo são os principais determinantes da quantidade e qualidade da MOS, exercendo influência direta sobre sua dinâmica e estabilidade. O objetivo do trabalho é analisar os estoques de carbono no solo, durante esse período de tempo nos sistemas rotacionados.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está instalado na cidade de Umuarama-PR, na estação experimental do IDR-Paraná, situada geograficamente a 23º 44’ Sul e 53º 17’’ Oeste, com altitude de 480 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 22,1 ºC e precipitação média anual de aproximadamente 1.623 mm (Iapar, 2013). O solo é classificado como

LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO, textura média, a moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado e plano (BHERING *et al*., 2008).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos: Produtor (TPR), Palhada (TPH), Comercial Intensivo (TCI), Agroenergia (TAE) e diversificado (TDI) com quatro repetições, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Culturas utilizadas no experimento localizado no IDR- Paraná em Umuarama, durante um ciclo de três anos.

	Ano 1		Ano 2		Ano 3	
Tratamentos	**Inverno**	**Verão**	**Inverno**	**Verão**	**Inverno**	**Verão**
Produtor	Feijão	Braquiária	Feijão	Braquiária	Feijão/ Aveia	Soja
Palhada	Aveia+Centeio	Soja	Aveia+nabo	Milho	Aveia+Centeio	Soja
Comercial intensivo	Aveia branca	Milho	Sorgo granífe	Soja	Triticale	Soja
Agroenergia	Crambe	Milho	Canola	Milho	Crambe	Soja
Diversificado	Tremoço	Milho+Braquiária	Feijão	Milho	Trigo Mourisco/Aveia	Soja

Fonte: próprio autor. A repetição dos tratamentos é trimestral, repetindo-se a cada 3 anos as mesmas culturas.

Foram coletadas amostras deformadas (com trado holandês) e indeformadas com trado para densidade, nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. As amostras deformadas de solo foram submetidas ao fracionamento granulométrico de acordo com o método originalmente descrito por Feller (1994) e posteriormente adaptado por Sá *et al*. (2001) e Santos (2006), produzindo as frações COP (>53 µm) e COAM (<53 µm). As amostras foram encaminhadas para análise química de carbono, realizada por oxidação via úmida, conforme o método descrito por Walkley e Black (1934).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 2, apuramos que COT de 0-10 e 10-20 cm para o experimento em Umuarama não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos, quando comparados entre anos.

Tabela 2. Comparação de estoques de Carbono Orgânico Total (COT) de 2014 a 2023 entre diferentes rotações em Umuarama-Paraná.

	Marco Zero (2013)		Final do Primeiro ciclo (2017)		Final do Segundo ciclo (2020)		Final do Terceiro ciclo (2023)	
	0,0 - 0,1 m	0,1- 0,2m	0,0 - 0,1 m	0,1- 0,2m	0,0 - 0,1 m	0,1- 0,2m	0,0 - 0,1 m	0,1- 0,2m
Produtor Local			18,34	13,04	30,17	11,13	17,67	8,5
Palhada 50%			18,87	15,32	19,97	12,76	12,77	9,41
Comercial Intensivo	18,55	10,74	18,78	12,86	18,69	15,35	12,99	9,67
Agroenergia			19,62	13,34	19,72	12,25	16,65	9,67
iversificado Intensiv			19,2	14,12	18,39	13,97	20,04	9,99

Fonte: próprio autor.

Os solos da Região de Umuarama são em sua maioria de baixa concentração de argila, portanto muito mais frágeis e suscetíveis a degradação ambiental, quando mudadas suas condições naturais. Sua fragilidade reside em vários fatores como a baixa concentração de argila resultado do material original de formação o Arenito Caiuá, o clima com altas temperaturas acelera a velocidade e as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo, que é o fator primordial de estabilização e manutenção da qualidade dos solos, favorecendo assim perdas severas quando o manejo destes solos não é adequado e voltado para a conservação. Essa

característica pode influenciar os efeitos dos tratamentos aplicados, pois ser um solo frágil, no qual a matéria orgânica é rapidamente decomposta pelo meio ambiente local.

Validando os resultados encontrados por Sá *et al* (2001) e Santos (2010), também encontramos estoques de COT na superfície do solo valores maiores de MOS, quando comparados com a camada subsuperficial. Na Tabela 1 observamos em todos os tratamentos e nos diferentes anos a camada superficial foi maior em estoques de COT que a camada subsuperficial, resultado da natural deposição dos resíduos culturais que acontecem em sua maioria na superfície. É preciso ressaltar que em SPD, onde se preconiza o não revolvimento do solo, repete-se a ordem natural do meio ambiente mantendo esse padrão de estoques superiores na camada superficial.

Na Tabela 3 onde avaliamos o comportamento de cada tratamento entre os anos percebemos claramente que todos os tratamentos apresentaram perdas dos estoques de COT, com o passar dos anos, resultado esse que pode ser em função de fatores ambientais (2021 seca forte na Região e 2022 precipitações concentradas na Região) e ou também pode significar que a maioria das rotações (exceto o TAE) ao longo do tempo não cumprem com a função de aumentar os estoques de COT e, portanto, degradam esse solo.

É importante ressaltar que o TAE foi o único que não demonstrou diferenças estatísticas que demonstrasse as perdas do COT, no entanto em números absolutos os estoques diminuíram.

Notabiliza-se que apesar da maioria das propostas de rotações aqui testadas apresentarem na maioria mais culturas Poáceas quando comparadas as Fabáceas constantes nas rotações propostas, a rotação que apresentou os melhores resultados foi a que teve maior número de famílias diferentes que foi a rotação TAE com 1 Fábacea (soja), 2 Poáceas (2 vezes milho), 2 Brassicaceas (2 vezes o crambe e 1 vez a canola).

Tabela 3. Comparação de estoques de Carbono Orgânico Total (COT) de 2017 a 2023 entre os anos dentro das diferentes rotações em Umuarama-Paraná.

Ano	Produtor Local	Palhada 50%	Comercial Intensivo	Agroenergia	Diversificado Intensivo
			0,0 - 0,1 m		
2017	18,34 (b)	18,87 (a)	18,78 (a)	19,62 (a)	19,20 (a)
2020	30,17 (a)	19,91 (a)	18,69 (a)	19,72 (a)	18,39 (a)
2023	17,67 (b)	12,72 (a)	12,99 (a)	16,65 (a)	20,04 (a)
Ano	Produtor Local	Palhada 50%	Comercial Intensivo	Agroenergia	Diversificado Intensivo
			0,1- 0,2m		
2017	13,04 (a)	15,32 (a)	12,86 (ab)	13,34 (a)	14,12 (a)
2020	11,13 (ab)	12,76 (ab)	15,35 (a)	12,25 (a)	13,97 (a)
2023	8,50 (b)	9,41 (b)	9,67 (b)	9,67 (a)	9,99 (b)

Fonte: próprio autor.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados, confirma-se a fragilidade dos solos da região de Umuarama e a importância do manejo adequado para sua conservação. A redução dos estoques de COT ao longo dos anos, possivelmente influenciada por fatores climáticos, ressalta a necessidade de estratégias mais eficazes. Nesse contexto, a rotação TAE destacou-se por minimizar as perdas, evidenciando que a diversidade de culturas pode contribuir para a sustentabilidade do solo, reforçando a relevância de práticas conservacionistas para mitigar a degradação e manter a qualidade do solo a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro, bem como ao IDR-Paraná pela infraestrutura, suporte técnico e auxílio prestado ao longo deste trabalho. Agradecemos também aos orientadores e colegas pelas trocas de informações, que foram fundamentais para o desenvolvimento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, L. O. **Carbono e nitrogênio particulados em solo cultivado com cafeeiro consorciado com plantas de cobertura**. 2022.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agronômico do Paraná, 2008. 74 p.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja; 2011.

SÁ, J. C. M. *et al*. Soil carbon fractions and biological activity based indices can be used to study the impact of land management and ecological successions. **Ecological Indicators**, v. 84, p. 96-105, 2018.

SANTOS, J. B. **Alterações no estoque e taxa de sequestro de carbono em um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo**. 2006. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. **Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo**. 2001.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NA CAMADA SUPERFICIAL EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE CASTELO BRANCO/PR

João Paulo Vieira dos Santos[1*], Rafael Felipe Mathias[1], Ana Samily de Oliveira Souza[2], Stéphanie Abisag Sáez Meyer Piazza[3], Santos Henrique Brant Dias[4]

[1] Estudante de graduação da UNICESUMAR, [2] Estudante de mestrado da UNICESUMAR, [3] Pesquisadora da UNICESUMAR, [4] Professor da UNICESUMAR. *joao.v.santos2907@gmail.com

RESUMO

O estudo investigou a distribuição do carbono orgânico total (COT) na camada superficial do solo em dois sistemas de cultivo em Presidente Castelo Branco/PR, com foco no impacto do uso de terraços. A pesquisa demonstrou que o manejo com terraço favorece a retenção de COT, apresentando uma distribuição mais homogênea e uma menor variabilidade espacial, enquanto a área sem terraço exibiu maior variabilidade e risco de degradação do solo. A análise geoestatística, com semivariogramas e krigagem, revelou que práticas conservacionistas, como o uso de terraços, contribuem para a sustentabilidade agrícola, promovendo a retenção de carbono e a melhoria das propriedades do solo. O estudo reforça a importância de adotar práticas de manejo que considerem a conservação do solo para garantir a saúde do ecossistema e a produtividade agrícola a longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: carbono orgânico total; terraceamento; geoestatística; krigagem.

INTRODUÇÃO

O carbono orgânico influencia a qualidade do ecossistema agrícola, pois é responsável por manter a fertilidade do solo, promover a biodiversidade e regular as propriedades físico-químicas do solo, o que impacta diretamente a produtividade agrícola e a mitigação das mudanças climáticas (Araújo e Silva, 2021). Sua presença no solo está associada ao aumento da capacidade de retenção de água e nutrientes, além de contribuir para a formação de agregados e resistência à erosão (Mottin *et al.*, 2022).

Presidente Castelo Branco, do estado do Paraná, é predominantemente rural, com a agricultura e a pecuária como principais atividades econômicas. Possui solo fértil e clima favorável, evidenciando a sua relevância na matriz agrícola paranaense e no abastecimento nacional. Na região, diferentes sistemas de manejo têm sido adotados, destacando-se o cultivo com terraço e sem terraço. O sistema com terraço visa controlar a erosão e a perda de solo, favorecendo a conservação do carbono orgânico na camada superficial. Já o cultivo sem terraço pode levar à degradação do solo e à redução do carbono orgânico se não aplicar técnicas de manejo adequadas (Mottin *et al.*, 2022). As culturas predominantes (milho, trigo, soja e cana de açúcar) desempenham papel crítico na dinâmica do carbono no solo, pois suas práticas de manejo e rotação influenciam a quantidade de carbono fixada.

Práticas como o terraceamento e o uso de plantas de cobertura podem aumentar significativamente o teor de carbono no solo, e práticas agrícolas intensivas podem levar à perda de carbono (Araújo e Silva, 2021). A aplicação de métodos conservacionistas, como o cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura, melhora a retenção de carbono e enriquece a biodiversidade do solo (Mottin *et al.*, 2022).

O presente estudo tem como objetivos investigar a distribuição do carbono orgânico na camada superficial do solo em dois sistemas de cultivo distintos na área de Presidente Castelo Branco/PR. A pesquisa pretende também avaliar como as diferentes práticas de manejo influenciam essa distribuição. A hipótese de trabalho sugere que o cultivo com terraço demonstrará uma maior retenção de carbono orgânico em comparação ao cultivo sem terraço, destacando a importância de práticas conservacionistas para a manutenção da qualidade do solo e sustentabilidade agrícola na região (Matias, 2012).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Presidente Castelo Branco, no estado do Paraná, Brasil, localizado nas coordenadas geográficas de 23°11'26.92"S e 52°5'59.51"O, a uma altitude de 505 metros. A área de estudo apresenta um clima caracterizado por uma temperatura média anual de aproximadamente 22 °C e uma precipitação média anual em torno de 1500 mm, que são fatores importantes para a dinâmica de carbono no solo. O solo do local é classificado como Argissolo. O clima do local é classificado como subtropical úmido (Cfa), segundo classificação de Köppen, precipitação média anual variando entre 1.200 e 1.600 mm e temperatura média anual de aproximadamente 20°C (Alvares *et al*., 2013).

Antes do plantio, ambas as áreas destinadas aos tratamentos (com terraço e sem terraço) passaram por um preparo convencional do solo, essencial para a adequação da estrutura do solo para a cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). As coletas de solo foram realizadas durante o segundo semestre de 2023, em um delineamento experimental que estabeleceu duas megaparcelas, onde foram coletados 32 pontos de amostragem em cada uma delas (**Figura 6**).



Figura 6. Grade de pontos com amostras coletadas, CT – Com terraço e ST – Sem terraço.

Foi analisado o teor de carbono orgânico total (COT) na camada superficial do solo, especificamente na profundidade de 0 a 10 cm. O método de amostragem adotado envolveu a coleta sistemática de amostras em uma grade de pontos observado na figura acima, permitindo uma representação espacial adequada. As unidades de medida utilizadas foram expressas em gramas por decímetro cúbico (g/dm³). A abordagem do trabalho tem como premissa a análise geoestatística, onde a determinação de carbono orgânico é considerada uma variável para a análise espacial e não um objetivo isolado do estudo. No laboratório, o COT foi obtido pela metodologia de Walkley e Black (1934), pela oxidação de dicromato de potássio.

A análise do carbono orgânico foi utilizada como uma variável de interesse, para aplicação de técnicas que incluíram a modelagem do variograma, e a interpolação por krigagem, ambas fundamentais para a compreensão da variabilidade espacial dos dados coletados. O software GS+ foi utilizado para a execução dessas análises, permitindo uma avaliação robusta da variabilidade espacial e facilitando a visualização dos dados geoespaciais coletados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição de carbono orgânico na camada superficial em dois sistemas de cultivo no município de Presidente Castelo Branco/PR revela insights fundamentais sobre como práticas de manejo, especificamente o uso de terraços, influenciam a variabilidade espacial do carbono orgânico total (COT). A análise dos semivariogramas, **Figura 7** abaixo, e dos modelos gerados pela krigagem fornece uma visão detalhada das dinâmicas do COT e assinala a relevância de métodos conservacionistas.

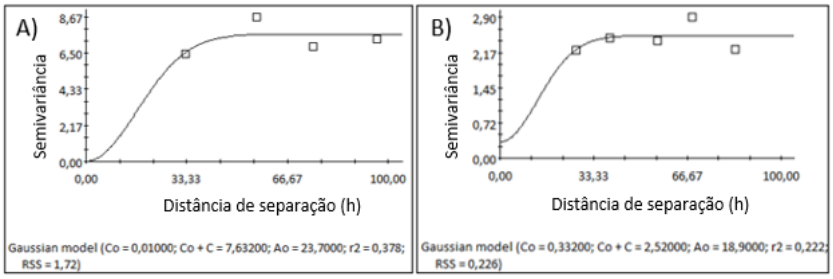
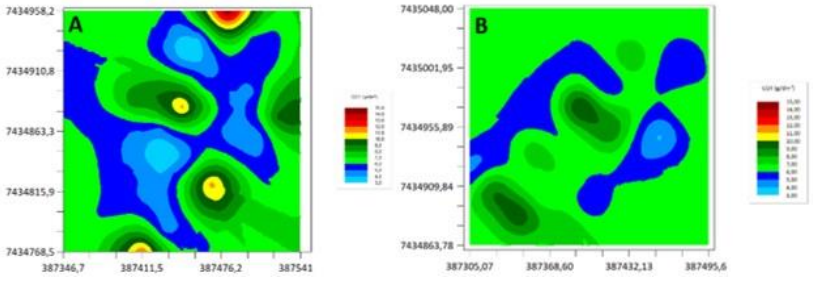


Figura 7. Semivariogramas das megas (A) com e (B) sem terraço

O semivariograma da área com terraço **Figura 7**A apresenta um nugget (Co) relativamente baixo, indicando uma menor variabilidade espacial a curto alcance, enquanto o alcance (Ao) é abrangente, sugerindo que a influência do COT se estende por longas distâncias. Esses padrões sugerem uma estrutura espacial mais homogênea do COT. O manejo com terraços pode diminuir a erosão, melhorar a infiltração de água e levar a uma maior uniformidade na distribuição do COT (Pereira *et al.*, 2010). O terraceamento favorece a retenção do carbono no solo ao melhorar suas propriedades físicas e reduzir a compactação, o que impacta positivamente a sustentabilidade agrícola (Matias *et al.*, 2012).

Por outro lado, o semivariograma da área sem terraço **Figura 7**B apresenta um nugget elevado, acompanhado por um alcance reduzido, refletindo uma variabilidade espacial maior e uma estrutura menos homogênea do COT. Este padrão sugere uma maior heterogeneidade na distribuição do COT, associada à ausência de práticas conservacionistas (Matias *et al.*, 2012). Assim, os sistemas sem manejo conservacionista tendem a apresentar flutuações acentuadas na concentração de COT, que podem ser exacerbadas por processos erosivos e degradativos, resultando em configuração espacial desuniforme (Hara *et al.*, 2019). Logo abaixo na **Figura 8** pode ser observado o mapa 2D gerado pela krigagem no software GS+.



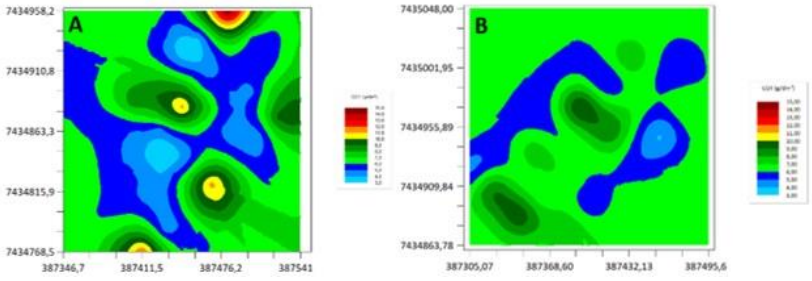


Figura 8. Modelos 2D da Krigagem na distribuição de Carbono Orgânico Total nas áreas (A) com e (B) sem terraço

Observando o mapa 2D gerado pela krigagem na área com terraço (Figura 8A) mostra áreas de alta concentração de COT pontuais, com contornos suaves e bem definidos. Essa uniformidade deve-se ao efeito

positivo do manejo com terraço que não apenas promove a retenção de água, mas também favorece as condições para a acumulação de matéria orgânica (Pereira *et al.*, 2010). Áreas de alta concentração de COT contrastam fortemente com as zonas de baixa concentração, indicando que o manejo efetivo proporciona um ambiente propício para a saúde do solo e aumento do estoque de carbono.

Em comparação, o modelo 2D da área sem terraço (

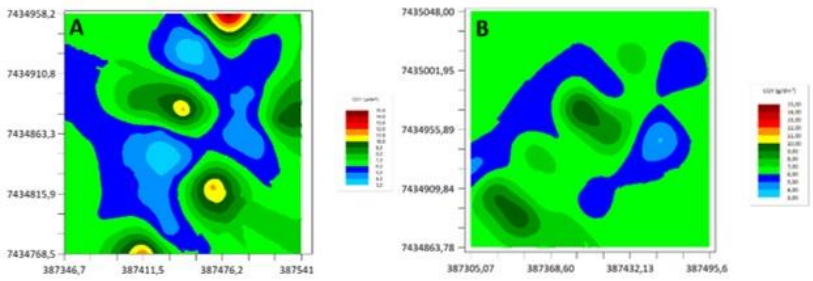


Figura 8B) exibe uma distribuição muito mais dispersa e irregular do COT. As zonas críticas (tonalidades de azul) revelam áreas onde a degradação do COT é mais pronunciada, possivelmente devido à erosão e à desestruturação do solo. A ausência de práticas que promovem a conservação do solo resulta em áreas vulneráveis que carecem de uma gestão adequada, aumentando o risco de perda de carbono e comprometendo a sustentabilidade agrícola.

A visualização 3D proporciona uma compreensão da variabilidade espacial do COT nos dois sistemas. As representações 3D elucidam as zonas de acúmulo e as áreas de menor concentração, e ajudam a identificar a extensão das variações, destacando as diferenças entre os ambientes com e sem terraço.

A abordagem tridimensional torna-se essencial para a proposta de práticas de manejo que visem otimizar o armazenamento de carbono, enfatizando a importância da integração do manejo conservacionista para garantir a saúde e a fertilidade do solo.

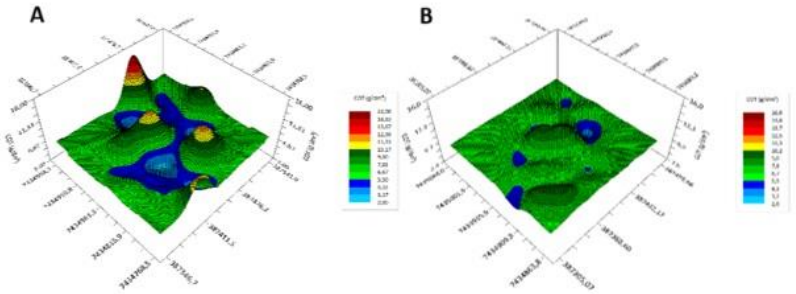


Figura 9. Modelos 3D da Krigagem na distribuição de Carbono Orgânico Total na área (A) com e (B) sem terraço

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciam que o manejo agrícola com o uso de terraços desempenha um papel crucial na modulação da distribuição do carbono orgânico na camada superficial do solo. O emprego de geoestatística, através de semivariogramas e krigagem, permitiu uma análise da variabilidade espacial do carbono orgânico total, fornecendo subsídios para a implementação de práticas sustentáveis no manejo do solo em Presidente Castelo Branco.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente à Rede Paranaense de Agropesquisa, à Fundação Araucária e a todos os parceiros acadêmicos e técnicos que, com sua dedicação e apoio financeiro, tornaram possível este estudo.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

ARAÚJO, A.; SILVA, Y. T. D. C. Avaliação do ciclo de vida agrícola de cultivos orgânico, convencional e transgênico de milho: potenciais impactos ambientais. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 4, p. 1–18, 17 dez. 2021.

HARA, A. T. *et al.* Estacionaridade e simetria das distribuições de umidade do solo e de variáveis de produção e suas análises variográficas. **Revista Engenharia Na Agricultura**, v. 27, n. 6, p. 508–517, 21 out. 2019.

MATIAS, S. S. R. *et al.* Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 7, 1 nov. 2012.

MOTTIN, M. C. *et al.* Frações químicas do carbono orgânico do solo em função do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo. **Conjecturas**, v. 22, n. 16, p. 326–339, 23 nov. 2022.

PEREIRA, M. G. *et al.* Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508–514, maio 2010.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n.1, p.29-38, jan. 1934.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO NO PERFIL DO SOLO SOB A APLICAÇÃO DE DEJETOS DA SUINOCULTURA E AVICULTURA COMO FERTILIZANTE ORGÂNICO

Vanessa Gonçalves Aisawa[1*], Keila Padilha de Oliveira Camargo de Lima[2], José Francirlei de Oliveira[3], Renan Prado Rodrigues[4], Graziela Moraes de Cesare Barbosa [5]

[1*]Estudante de mestrado da Universidade Estadual de Londrina – UEL, Paraná. *e-mail: vanessa.gaisawa@uel.br; [2] Estudante de doutorado da Universidade Estadual de Londrina – UEL, Paraná; [3] Analista do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR; [4] Bolsista técnico do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR; [5] Pesquisador do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR

RESUMO

O uso de dejetos provenientes da produção de suínos e aves como fertilizante orgânico na agricultura é uma opção para minimizar os potenciais riscos ambientais com a destinação desses dejetos. O objetivo do estudo foi analisar a ação dos dejetos de suínos e aves sobre a qualidade e distribuição do carbono no perfil do solo. O experimento foi instalado em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram: dejeto de aves (DA) e dejeto líquido de suínos (DLS) em doses de 100 e 200% da recomendada. Após treze anos de uso dos dejetos foram coletadas amostras de solo em quatro profundidades (00-10; 10-20; 20-30 e 30-40cm) e determinados os teores totais de carbono orgânico (CO) e CO das substâncias húmicas. O DLS aumentou o teor total de CO e dos ácidos fúlvicos em relação ao DA, principalmente na maior dose até a camada de 40 cm.

PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica; fracionamento do carbono; qualidade do carbono; substâncias húmicas.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a 2º posição como maior produtor de aves (14.833 milhões/ton) e a 4º posição como maior produtor mundial de suínos (5.156 milhões/ton), ocupando a liderança e a 4º posição como maior exportador de carne de aves e suínos, respectivamente perante o mercado mundial (ABPA, 2024). A utilização de resíduos orgânicos de animais como fertilizante é uma opção que traz benefícios ambientais e econômicos, sendo assim, considerado uma estratégia para uma produção agrícola mais sustentável (Bhunia *et al*., 2021).

A aplicação desses dejetos pode promover um aumento do teor de carbono orgânico no solo (CO) devido a sua composição (Goldan *et al*., 2023). Oliveira *et al*. (2022), em um Latossolo muito argiloso, avaliaram o efeito de diferentes doses de esterco líquido de suínos e esterco sólido de aves no armazenamento de CO, concluíram que o esterco líquido de suínos teve maior impacto na qualidade do CO, promovendo um aumento na estabilidade das frações húmicas e na fertilidade do solo. No entanto, poucas informações estão disponíveis acerca da interação entre a quantidade e qualidade do carbono no perfil do solo em função das características (líquida ou sólida) dos dejetos, e se essas interações podem ocorrer em camadas mais profundas desse perfil. Assim, a hipótese do presente estudo é que, em função da característica líquida, o DLS altere qualidade e aumente o teor de C nas camadas mais profundas do solo em relação ao DA.

O objetivo do estudo foi analisar a ação dos dejetos de suínos e aves sob a qualidade e distribuição do carbono no perfil do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do local e coleta das amostras

Local: O local de estudo é conduzido na Estação Experimental do IDR (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – EMATER/IAPAR), Londrina – PR (23°22’S e 51°10’W) desde 2008, com altitude de 585m e

precipitação anual média de 1588 mm (Nitsche *et al*., 2019). De acordo com a classificação de KÖPPEN o clima da região é o Subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 21°C. O solo da área do experimento é de origem de rocha basáltica, sendo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico muito argiloso (Santos *et al*., 2018). A área experimental foi conduzida sob plantio convencional na produção de grãos até o ano de 2008, a partir deste ano adotou-se o plantio direto (PD) com culturas de verão (milho/soja) e de inverno (aveia e/ou mix de cobertura: aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca e triticale).

Experimento: O delineamento experimental foi instalado em blocos ao acaso em parcelas de 50 m² em esquema fatorial (2 dejetos * 2 doses) e quatro repetições. Os tratamentos consistiram no uso de dejeto de aves (DA) e dejeto líquido de suínos (DLS), ambos nas doses equivalentes a 100% e 200% da dose recomendada de fertilizante nitrogenado ou fosfatado (dependendo da cultura a ser implantada). As doses do DA e DLS foram calculadas conforme a necessidade de nitrogênio para as gramíneas e fósforo para leguminosas. A aplicação dos dejetos (DA e DLS) foram feitas semestralmente antes do plantio das culturas sem incorporação no solo. No ano de 2021, após treze anos de uso dos dejetos, foram coletadas amostras de solo em quatro profundidades: 00-10cm, 10-20cm, 20-30cm e 30-40cm, totalizando 48 amostras. Laboratório: O CO foi determinado pelo método de Walkley & Black e o fracionamento das substâncias húmicas foi realizado conforme metodologia descrita por (Benites *et al*., 2017).

Estatística: As análises estatísticas foram realizadas com software R versão 4.4.2, o pacote utilizado foi o easyanova: *Analysis of Variance and Other Important Complementary Analyses* (Arnhold, 2013). O banco de dados foi submetido aos testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, onde os pré-supostos foram atendidos. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey à 5% de significância ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 13 anos de aplicações semestrais de dejetos de aves e suínos em diferentes doses, observa-se que o tipo de dejeto influenciou a quantidade e qualidade do carbono no perfil do solo até 40cm, sem efeito significativo das diferentes doses ou da interação entre os dejetos e doses (Tabela 1).

Tabela 1. P-valor do teor de Carbono orgânico (CO) e das frações de ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (Hum) em função dos dejetos de aves e suínos (DEJ) e das doses (D) nas camadas 00–10, 10–20, 20-30 e 30-40 cm de um Latossolo Vermelho após 13 anos de aplicações semestrais.

	CO				AF			
	00-10	10-20	20-30	30-40	00-10	10-20	20-30	30-40
BLOCO	-	-	-	-	-	-	-	-
DEJ	-	0.00	-	0.01	-	-	-	0.00
D	-	-	-	-	-	-	-	-
DEJ x D	-	-	-	-	-	-	-	-
	AH				Hum			
	00-10	10-20	20-30	30-40	00-10	10-20	20-30	30-40
BLOCO	-	-	-	-	-	-	-	-
DEJ	-	-	-	0.01	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-	-	-	-
DEJ x D	-	-	-	-	-	-	-	-

O uso do DLS aumentou o teor de CO na camada 10-20cm e na camada 30-40cm aumentou o teor de CO e das frações mais lábeis (ácido fúlvico e húmico) em relação ao DA (Tabela 2). Na camada 10-20cm o CO foi de 15,50 g kg^{-1} e 12,81 g kg^{-1} com o uso do DLS e do DA, respectivamente. Já na camada 30-40cm, o

CO foi de 11,73 g kg^{-1} e 9,89 g kg^{-1}, os ácidos fúlvicos (AF) foi de 2,90 g kg^{-1} e 2,04 g kg^{-1} e os ácidos húmicos (AH) foi de 1,72 g kg^{-1} e 1,34 g kg^{-1} com o uso de DLS e DA, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Média do teor de carbono orgânico (CO), ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (Hum) nas camadas 00–10, 10–20, 20-30 e 30-40 cm de um Latossolo Vermelho após 13 anos de aplicação semestral de dejeto liquido de suínos (DLS) e dejeto de aves (DA).

		CO		AF		AH		Hum	
	Profundidade (cm)	g kg^{-1}							
		DLS	DA	DLS	DA	DLS	DA	DLS	DA
Dejetos	00-10	23,91 a	23,28 a	3,64 a	3,51 a	2,86 a	2,71 a	8,81 a	8,03 a
	10-20	15,50 a	12,81 b	3,16 a	2,79 a	1,97 a	2,09 a	6,57 a	6,35 a
	20-30	13,15 a	12,12 a	3,03 a	2,50 a	1,80 a	1,74 a	6,30 a	6,11 a
	30-40	11,73 a	9,89 b	2,90 a	2,04 b	1,72 a	1,34 b	5,65 a	5,55 a

Notas: Médias seguidas por letras iguais (na linha) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p<0,05$).

O DLS possui uma maior capacidade de infiltração no solo quando comparado ao DA, devido a maior presença de água. Assim, a infiltração do DLS pode ter influenciado os teores de CO e das substâncias húmicas nas camadas mais profundas. Além disso, a diversificação das culturas na área, considerando as diferentes profundidades efetivas do sistema radicular (Z), onde boa parte da maior densidade radicular das culturas se encontra nos 40 cm (Monteiro, 2009), pode explicar, em parte o efeito do DLS nos teores de CO e das substâncias húmicas nas camadas abaixo de 30 cm do perfil do solo.

Dentre as frações das substâncias húmicas possivelmente parte do CO do DLS ficou protegido no interior de agregados, aumentando principalmente as frações lábeis (AF e AH). Essas frações são formadas como resultado da degradação, transformação e condensação de radicais livres do CO de resíduos orgânicos (inclusive dos dejetos) (Zavarzina *et al*., 2021). Nesse sentido, o formato líquido do DLS pode potencializar a formação de agregados estimulados por essas substâncias húmicas (AF e AH), compostos por um núcleo hidrofóbico de resíduos aromáticos cercados por partículas polares e anfifílicas (Angelico *et al*., 2023).

CONCLUSÕES

Após 13 anos de aplicações semestrais de dejetos de aves e dejeto líquido de suínos em Latossolo, o dejeto líquido de suíno apresenta potencial para aumentar os teores de carbono e os teores das frações mais solúveis do carbono nas camadas mais profundas do solo (até 40 cm de profundidade), sendo, portanto, um tipo de dejeto com capacidade de elevar os teores e o tempo de meia-vida do carbono no perfil do solo, condizente ao aumento da sustentabilidade nos sistemas de produção.

AGRADECIMENTOS

Ao suporte do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR/PR, Londrina, Paraná, Brasil e ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

BIBLIOGRAFIA

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual**. 2024. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2024/04/ABPA-Relatorio-Anual-2024_capa_frango.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2024.

ANGELICO, R., COLOMBO, C., DI IORIO, E., BRTNICKÝ, M., FOJT, J., & CONTE, P. Humic substances: from supramolecular aggregation to fractal conformation—is there time for a new paradigm? **Applied Sciences**, v. 13, n. 4, p. 2236, 2023.

ARNHOLD, E. Pacote em ambiente R para análise de variância e análises complementares. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science,** v. 50, n. 6, p. 488-492, 2013

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 3, cap. 6, p. 401-414.

BHUNIA, S.; BHOWMIK, A.; MALLICK, R.; MUKHERJEE, J. Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: A review. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 823, 2021.

GOLDAN, E.; NEDEFF, V.; BARSAN, N.; CULEA, M.; PANAINTE-LEHADUS, M.; MOSNEGUTU, E.; IRIMIA, O. Assessment of manure compost used as soil amendment—A review. **Processes**, v. 11, n. 4, p. 1167, 2023.

MONTEIRO, J. E. B. (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Instituto Nacional de Meteorologia--INMET, 2009.

NITSCHE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: < https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 04 nov. 2024.

OLIVEIRA, J. F.; DE OLIVEIRA, J. C. S.; RUIZ D. B.; DE CESARE BARBOSA, G. M.; TAVARES FILHO, J. (2022). Changes in carbon and phosphorus storages and humic substances in a Ferralsol, after tillage and animal manures applications. **Soil and Tillage Research**, v. 220, p. 105358, 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: EMBRAPA. 2018.

ZAVARZINA, A. G.; DANCHENKO, N. N.; DEMIN, V. V.; ARTEMYEVA, Z. S.; KOGUT, B. M. Humic substances: hypotheses and reality (a review). **Eurasian Soil Science**, v. 54, p. 1826-1854, 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ACÚMULO DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO

Kauanna Trindade Vieira Riberski[1*], Jeferson Dieckow[2], Bruna Ramalho[3], Gabriel Barth[4], Helio Antonio Wood Joris[5]

[1] Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - UFPR, [2] Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – UFPR, [3] Professora da Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, [4,5] Coordenadores de pesquisa da Fundação ABC.
[*]kauanna.riberski@ufpr.br/kauanna.riberski@hotmail.com

RESUMO

Desafio da produção agrícola sustentável: melhorar os sistemas de culturas manejados em PD para maximizar a PPL e promover sequestro de carbono. O objetivo foi avaliar a capacidade de sistemas de culturas em acumular carbono no solo até 3 metros. O estudo foi realizado a partir de um experimento de 34 anos, composto por sistemas de culturas sob PD, sendo o sistema de sucessão trigo-soja (referência), azevém (corte)-milho-azevém-soja e alfafa (corte)-milho. Os sistemas Az-Mi-Az-So (226,2 Mg C ha^{-1}) e Alf-Mi (231,9 Mg C ha^{-1}) apresentaram maiores estoques de C até 2 metros comparado ao Tr-So (215,1 Mg C ha^{-1}). Os sistemas com forrageiras para corte acumularam mais carbono em comparação com a referência até 3 metros.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de culturas; carbono orgânico total; alfafa perene; forrageiras para corte.

INTRODUÇÃO

O sequestro de carbono da atmosfera pode estar relacionado ao manejo voltado para a conservação da matéria orgânica do solo, uma vez que o carbono é o elemento predominante em sua composição e para determinar o teor de MOS, é utilizada a conversão do carbono através do fator de van Bemmelen (1,724). (SILVA *et al*., 2023). O teor de MOS é visto como fator de avaliação da qualidade do solo, atuante em propriedades físicas e químicas do solo, influenciando na produtividade das plantas por meio do fornecimento de nutrientes e energia para a microbiota (SILVA *et al*., 2023). Um dos principais desafios da produção agrícola sustentável está na implementação de melhorias nos sistemas de culturas, manejados em plantio direto, que maximizem a produção primária líquida, ao mesmo tempo em que promovam sequestro de carbono e acúmulo no solo. Para isso, é essencial aumentar a deposição de resíduos da parte aérea e das raízes, favorecendo a MO e melhorando a estrutura do solo. Os sistemas de culturas promovem benefícios ao solo ao adicionar biomassa de parte aérea e radicular que podem aumentar o teor de carbono orgânico total (COT) no solo (SECRETTI, 2017). Diante disso, levantou-se a hipótese de que sistemas de culturas com inclusão de forrageiras de corte, como azevém e alfafa, aumentam os estoques de carbono orgânico total (COT) do solo em relação a tradicional sucessão trigo-soja. Portanto, o objetivo foi avaliar a influência dos sistemas de culturas quanto ao aumento do estoque de carbono orgânico total em relação a sucessão de culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em 1989, em área da Fundação ABC, no município de Ponta Grossa/PR (25º00’42” S, 50º09’13” W e 877 m de altitude, Google Earth website). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (MOLIN, 2008), com 46% de argila para a camada de 0-20 cm. O clima é subtropical úmido (Cfb, Köppen), com temperaturas médias entre 15 ºC e 22 ºC durante o ano, nos meses mais quentes atingindo 27 ºC e nos meses mais frios 11 ºC, e precipitação média anual de 1.500 mm. A data de implantação do experimento marcou o início do plantio direto no local, submetido a rotações de culturas dispostas em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições e cada parcela possuindo 147 m² (7 x 21 m). Os sistemas de culturas são: [i] Tr-So: trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno e soja (*Glycine max* L. Merr.) no verão em sucessão anual para produção de grãos. Este sistema foi determinado como referência; [ii] Az-Mi-

Az-So: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) para produção de pré-secado no inverno, milho para produção de grãos no verão, azevém e soja para produção de grãos no verão, sob rotação bianual. O azevém passa por corte de duas a três vezes por inverno e a parte aérea retirada da parcela; [iii] Alf-Mi: alfafa semiperene (*Medicago sativa*) para produção de feno por 2,5 anos e na sequência um cultivo de milho no verão, formando um sistema trianual. A alfafa foi cortada 7 a 9 vezes por ano. A parte aérea cortada foi retirada da parcela. Foram coletadas 336 amostras de solo em agosto de 2023, das camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-75, 75-100, 100-125, 125-150, 150-200, 200-250, 250-300 cm. O método de escavação com uso de espátula foi aplicado para as camadas até 30 cm de profundidade e para as camadas abaixo de 30 cm foram coletadas com uso de trado-escavador de 20 cm de diâmetro. As amostras foram homogeneizadas em campo e levadas ao laboratório, secas em estufa a 45 ºC, destorroadas e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca em estufa (TFSE). Destas amostras, foram pesadas 20 g para moagem em gral de ágata, passando em peneira com abertura de malha de 0,20 mm, para determinação de carbono orgânico total (COT) via combustão seca pelo analisador Thermo Fisher FLASH 2000, Configuração NC Soils locado na UFRGS. O estoque de carbono foi calculado pelo procedimento de correção pela massa equivalente. Os dados inicialmente foram submetidos ao teste de Bartlett para avaliação de homogeneidade e na sequência a análise de variância (ANOVA). Para comparação de médias utilizou-se o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software RStudio® 4.2.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Maiores concentrações de carbono nos sistemas Az-Mi-Az-So e Alf-Mi foram observadas principalmente entre 5 e 20 cm, e entre 75 e 125 cm (TABELA 1). Com isso, estoques de carbono em 0-30 cm foram estatisticamente maiores nos sistemas Az-Mi-Az-So (81,8 Mg C ha^{-1}) e Alf-Mi (80,5 Mg C ha^{-1}) em relação ao Tr-So (74,2 Mg C ha^{-1}) (Figura 1A). Mesma tendência foi observada na camada de 0-100 cm, onde os estoques de carbono foram maiores em Az-Mi-Az-So (167,8 Mg C ha^{-1}) e Alf-Mi (166,9 Mg C ha^{-1}) comparado com Tr-So (156,9 Mg C ha^{-1}) (Figura 1B). Em 0-200 cm, os estoques de carbono também foram maiores em Alf-Mi (231,9 Mg C ha^{-1}) e Az-Mi-Az-So em relação ao Tr-So (215,1 Mg C ha^{-1}) (Figura 1C). Na camada de 0-300 cm, os sistemas Alf-Mi (267,5 Mg C ha^{-1}) e Az-Mi-Az-So (257,7 Mg C ha^{-1}) continuaram sendo superiores em relação aos sistemas Tr-So (247,9 Mg C ha^{-1}) (Figura 1D).

Sistemas com uso de forrageiras, como azevém e alfafa para produção de feno, evidenciaram, portanto, uma capacidade em acumular carbono no solo em relação ao sistema de sucessão Tr-So, possivelmente por meio da produção de biomassa da raiz e liberação de exsudados, estimulados pelo processo de corte da parte aérea de ambas as forrageiras (azevém e alfafa), tal processo provoca o crescimento do sistema radicular. Quando submetidas ao corte, essas forrageiras utilizam da reserva de carbono para o crescimento das novas folhas e intensifica o crescimento de raízes, logo esse carbono reservado será utilizado para o desenvolvimento radicular e para exsudação (KUZYAKOV *et al*., 2002).

Os resultados promissores obtidos nos sistemas que utilizam forrageiras, como azevém e alfafa, para a produção de feno, no que compete à tendência de acúmulo de carbono no solo em maiores profundidades, podem ser atribuídos à capacidade específica de cada cultura, como demonstra Mwafulirwa *et al*. (2019) que observaram maior ganho líquido de carbono no solo (1,8 x) nos tratamentos com resíduos de raiz de azevém, do que resíduo de brotos, justificando que quando há uma proporção maior de C/N no tecido vegetal é capaz de aumentar os estoques de C ao longo do tempo. Outro estudo observou os fluxos de carbono da rizosfera do azevém, que registou entrada de carbono no solo em cerca de 930 kg C ha^{-1} durante 47 dias de crescimento do azevém (DOMANSKI *et al*., 2001). Acerca da cultura da alfafa, os resultados deste estudo podem ser justificados possivelmente também pelo potencial da cultura da alfafa em aumentar o COT em mais de 20% (ZHOU *et al*., 2015; XIAOLI *et al*., 2010) correlacionado a sua capacidade de fixação de nitrogênio

o que possibilita maior incremento de carbono no solo. Singh *et al*. (2023) encontraram estoques de carbono em grandes profundidades do solo, onde a presença da alfafa em sistema de rotação, em comparação com cultivo de milho contínuo, apresentou 41,38 Mg C ha^{-1} até 7 m de profundidade.

Tabela 1. Concentrações de carbono nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-75, 75-100, 100-125, 125-150, 150-200, 200-250 e 250-300 cm de um Latossolo sob os sistemas de culturas trigo-soja (Tr-So), azevém-milho-azevém-soja (Az-Mi-Az-So) e alfafa-milho (Alf-Mi), por 34 anos. Ponta Grossa/PR.

Layer (cm)	Tr-So		Az-Mi-Az-So		Alf-Mi	
Concentração de Carbono (g C kg^{-1})						
0-5	33,6	a	40,6	a	35,7	a
5-10	23,1	b	27,1	a	23,8	b
10-20	18,1	b	20,4	a	20,9	a
20-30	16,5	a	16,3	a	18,1	a
30-50	12,8	n.s.	13,7	n.s.	13,7	n.s.
50-75	11,1	n.s.	11,4	n.s.	11,2	n.s.
75-100	9,2	b	9,6	a	9,9	a
100-125	7,0	b	7,6	a	8,0	a
125-150	5,1	n.s.	5,3	n.s.	5,8	n.s.
150-200	4,2	a	3,8	b	4,7	a
200-250	2,9	n.s.	2,8	n.s.	3,0	n.s.
250-300	2,6	n.s.	2,4	n.s.	3,0	n.s.

* significativo em relação ao tratamento testemunha com o sistema de culturas Tr-So em sucessão. n.s.: não significativo. As letras minúsculas demonstram as diferenças entre os tratamentos (p<0,05).
FONTE: A autora (2024).

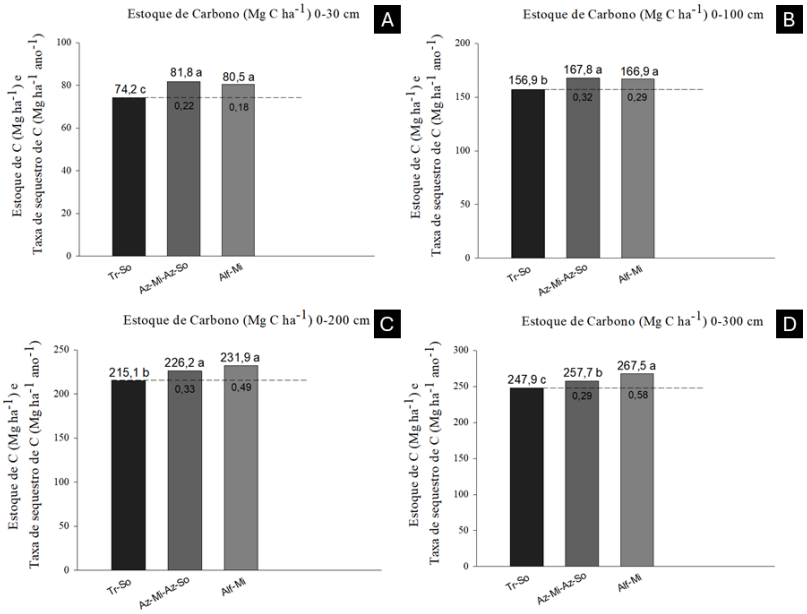


Figura 10. Estoques de carbono nas camadas de 0-30 cm (A), 0-100 cm (B), 0-200 cm (C) e 0-300 cm (D) de um Latossolo sob os sistemas de culturas trigo-soja (Tr-So), azevém-milho-azevém-soja (Az-Mi-Az-So) e alfafa-milho (Alf-Mi), por 34 anos. Número dentro de cada barra indica a taxa de sequestro de carbono (Mg C ha^{-1} ano^{-1}). Ponta Grossa/PR.

CONCLUSÕES

Sistemas de culturas com uso de forrageiras de corte, como azevém e alfafa, demonstraram eficiência em acumular carbono no solo em profundidades superiores a 1 metro, quando comparados ao sistema de sucessão trigo-soja. Esse resultado destaca a influência do sistema radicular no aporte de carbono em camadas profundas do solo, possivelmente em decorrência do processo de corte e rebrote ao qual as forrageiras avaliadas foram submetidas, fator que promove o desenvolvimento radicular.

AGRADECIMENTOS

À Fundação ABC, UFPR, UFRGS, CAPES, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola e a cada pessoa que contribuiu com cada etapa.

BIBLIOGRAFIA

DOMANSKI, G.; KUZYAKOV, Y.; SINIAKINA, S. V.; STAHR, K. Carbon flows in the rhizosphere of ryegrass (*Lollium perenne*). **J. Plant Nutr. Soil Sci**, 164, 381-387, 2001. DOI: 10.1002/1522-2624(200108)164:43.0.CO;2-5.

KUZYAKOV, Y.; BIRYUKOVA, O. V.; KUZNETZOVA, T. V.; MÖLTER, K.; KANDELER, E.; STAHR, K. Carbon partitioning in plant and soil, carbon dioxide fluxes and enzyme activities as affected by cutting ryegrass. **Biol Fertil Soils**, 2002. DOI 10.1007/s00374-002-0480-6.

MWAFULIRWAA, L.; BAGGSA, E. M.; MORLEYB, N.; Paterson, E. Ryegrass root and shoot residues differentially affect short-term priming of soil organic matter and net soil C-balance. **European Journal of Soil Biology 93**. 2019. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2019.103096.

SECRETTI, M. L. **Aporte de carbono ao solo por sistemas de monocultura, sucessão e rotação de culturas**. Parte da tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal da Universidade Federal da Grande Dourados. 2017.

SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DE ANDRADE, C. A.; MARTIN-NETO, L.; BETTIOL, W. Matéria orgânica do solo: ciclo, compartimentos e funções. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Tradução. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 788: il.

SINGH, A.; AFZAL, T.; WOODBURY, B.; WORTMANN, C.; IQBAL, J. Alfalfa in rotation with annual crops reduced nitrate leaching potential. **J. Environ**. Qual. 2023; 52:930–938. DOI: 0.1002/jeq2.20473.

XIAOLI, F.; MINGAN, S.; XIAORONG, W.; ROBERT, H. Soil organic carbon and total nitrogen as affected by vegetation types in Northern Loess Plateau of China. **Geoderma** 155 (2010) 31–35. DOI:10.1016/j.geoderma.2009.11.020.

ZHOU, Z.; ZHANG, X.; GAN, Z. Changes in soil organic carbon and nitrogen after 26 years of farmland management on the Loess Plateau of China. **J Arid Land** (2015) 7(6): 806–813. DOI: 10.1007/s40333-015-0051-y.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ

Giulia Karolline Kaminski[1*], Josileia Acordi Zanatta[2], Vanderley Porfirio da Silva[2]
[1]Bolsista da Embrapa Florestas; [2]Pesquisadores Embrapa Florestas. *giulia.kkaminski@gmail.com

RESUMO

No Brasil, pastagens de baixo vigor contribuem para perdas de carbono no solo, intensificando os efeitos da mudança climática. Como estratégia de mitigação, o programa Agricultura de Baixo Carbono estimula a adoção de sistemas de integração, como o silvipastoril. Este estudo avaliou o acúmulo de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo em diferentes sistemas de uso do solo no Paraná. Foram analisadas amostras de solo de 0-100 cm em áreas de pastagem, floresta plantada, agricultura e sistema silvipastoril, para a quantificação de C e N por combustão seca e análise estatística por ANOVA e teste de Tukey. O sistema silvipastoril apresentou o maior acúmulo de C no solo, com 71,23 t/ha (0-30 cm) e 145,27 t/ha (0-100 cm), enquanto o teor de N atingiu 7,14 t/ha (0-30 cm) e 16,05 t/ha (0-100 cm). Conclui-se que sistemas de integração são eficazes na retenção de C e N no solo, promovendo sustentabilidade e mitigação de impactos ambientais.
PALAVRAS-CHAVE: Silvipastoril; Sistemas de integração; Carbono acumulado.

INTRODUÇÃO

Devido às mudanças no uso da terra, à agropecuária e à energia, uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa está relacionada a produção agrícola principalmente (Viola e Mendes, 2022). No país, as pastagens representam o principal uso da terra, com cerca de 51% dessas áreas apresentam média e baixo vigor (MapBiomas, 2024). Esse cenário contribui para a perda de carbono no solo, agravando as emissões e o fenômeno da mudança climática. Embora sejam aplicados manejos em pastagens degradadas, há uma necessidade urgente de novas soluções para mitigar essa perda de carbono associada à pecuária. Nesse contexto, o governo brasileiro implementou o programa "Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária" (ABC+), com o objetivo de promover um desenvolvimento sustentável. O programa incentiva práticas agrícolas sustentáveis, como a recuperação e renovação de pastagens de baixo vigor, o uso de sistemas de plantio direto e integração, além da adoção de bioinsumos e do manejo adequado de resíduos da produção animal. Essas ações visam tornar os sistemas produtivos mais sustentáveis, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e garantir a produção de alimentos de qualidade.

Os sistemas de integração são estratégias que adotam princípios de conservação do solo, sendo utilizados na recuperação de pastagens degradadas e produção agrícola sustentável. Sistemas de integração (ex: ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; ILP – Integração Lavoura-Pecuária; IPF – Integração Pecuária-Floresta) aumentam a complexidade do sistema, a sustentabilidade da produção agrícola, diversificam a produção e aumentam a produtividade agrícola (Balbino *et al.*, 2011; Bieluczyk *et al.*, 2020; Brasil, 2023).

O solo é um importante reservatório de C, contribuindo para o sequestro global desse elemento e mitigando os impactos da mudança climática (Yang *et al.*, 2025). Além do C, o N presente no solo desempenha um papel crucial na capacidade do solo em sequestrar C. Assim, compreender as variações nos estoques de C e N em sistemas silvipastoris, em comparação com florestas plantadas, agricultura e pastagens convencionais no Estado do Paraná, é essencial para avaliar o potencial do sistema silvipastoril no sequestro de C da atmosfera e quantificar a contribuição do estado ao programa ABC+.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi realizado no município de Sapopema, situado na Região Norte do Paraná, Brasil (23°54'S, 50°34'W, altitude 705m). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa) (Köppen) e precipitação anual entre 1400mm a 1600mm (Nitsche *et al.*, 2019). A área experimental foi dividida em parcelas onde foram avaliados os seguintes sistemas: pastagem convencional (*Brachiaria brizantha*), povoamento florestal, agricultura (plantio direto com rotação de culturas soja e milho) e sistema silvipastoril. O sistema silvipastoril foi instalado em janeiro de 2013, formado por renques com 5 linhas de eucalipto, 3m de distância entre linhas, 1,5m entre árvores e 20m entre renques, implantado em uma área de pastagem.

As amostras de solo foram coletadas manualmente em 2021 quando o sistema silvipastoril estava programado para colheita das árvores com 8 anos. O solo foi amostrado por meio de trincheiras, nas camadas 0-5, 5-10-, 10-2-, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm. Em cada ponto de amostragem o solo foi coletado com espátula, destorroado, seco em estufa a 45°C, moído e peneirado para 2mm. Uma porção desse solo foi finamente moído (<250µm) para proceder a análise de Carbono. Subamostras de solo não perturbadas foram coletadas de cada camada para determinar a densidade do solo pelo método do cilindro volumétrico (Teixeira *et al.*, 2017).

As amostras secas ao ar, moídas e peneiradas (≤250 µm) foram submetidas a combustão seca (Vario Macri Cube, Elementar Analyser) para determinar o carbono total do solo. Para cada uso do solo foram analisadas 12 réplicas de solo nas camadas 0-30 cm e para as camadas de 30-100 cm. Para determinar os estoques de carbono e nitrogênio, os dados foram corrigidos a partir da massa equivalente de solo (Sisti *et al.*, 2004).

Os dados foram testados, cumprindo a suposição de normalidade. Foram realizadas análises de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 10$). Todas as análises foram realizadas no programa R Studio, considerando blocos inteiramente casualizados, com 3 repetições por bloco

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema silvipastoril apresentou efeito positivo no acúmulo de carbono no solo, quando comparado aos demais sistemas (Figura 1A). No sistema silvipastoril, o aumento de carbono acumulado no solo foi significativamente maior (71,23 t/ha de C), com um incremento de aproximadamente 23,06% em relação aos sistemas de povoamento florestal de 5,51% em reação a pastagem convencional. O sistema silvipastoril não apresentou diferença significativa em relação às áreas com agricultura (73,16 t/ha de C), isso provavelmente se deve ao fato de que no cultivo de espécies agrícolas há a adição de fertilizantes, rotação de culturas e sistema de plantio direto, acarretando o aumento de resíduos orgânicos e consequentemente garantindo o incremento dos estoques de C e N no solo. Além disso, o sombreamento promovido pelo sistema silvipastoril reduz a temperatura do solo, beneficiando o crescimento vegetal e a atividade microbiana, o que potencializa o sequestro de carbono (Paciullo *et al.*, 2008).

O teor de N (Figura 1B) não apresentou diferença significativa entre os sistemas avaliados. No entanto, apresenta um aumento de no mínimo 8% no sistema silvipastoril (7,14 t/ha de N) em relação a pastagem convencional. Os sistemas de uso agrícola e silvipastoril apresentaram as maiores quantidade de N, provavelmente em decorrência da presença de adubação nitrogenadas realizadas na implantação das culturas, rotação com leguminosas (sistema agricultura) e dejetos bovinos ricos em N (sistema IPF). O N é um elemento que frequentemente limita o acúmulo de carbono no solo devido seu efeito na produção vegetal, como reflexo da maior atividade fotossintética, que leva ao maior acúmulo de biomassa vegetal (Yang *et al.*, 2025), e pode promover acréscimo de C no solo (Stefano e Jacobson, 2018).

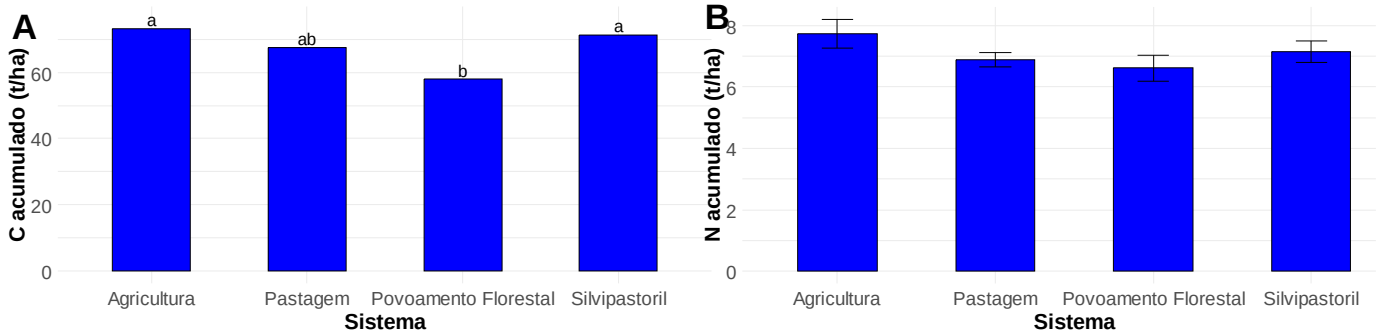


Figura 1. Estoque de carbono (A) e nitrogênio (B) acumulados em t/ha na camada de 0-30 cm em diferentes sistemas de uso do solo.

Apesar de não haver diferença significativa no aumento de C sequestrado do solo e de N (Figura 2A e 2B) na camada de 0-100 cm, o sistema IPF (145, 27 t/ha de C) levou ao aumento de no mínimo 9% do estoque de carbono em relação aos demais sistemas. Comportamento semelhante foi observado em relação ao N, onde é possível observar um acréscimo de no mínimo 5% de N no sistema IPF (16,05 t/ha de N) em relação ao demais. Esse aumento provavelmente está relacionado com a concentração de raízes de eucaliptos e braquiária em maior profundidade.

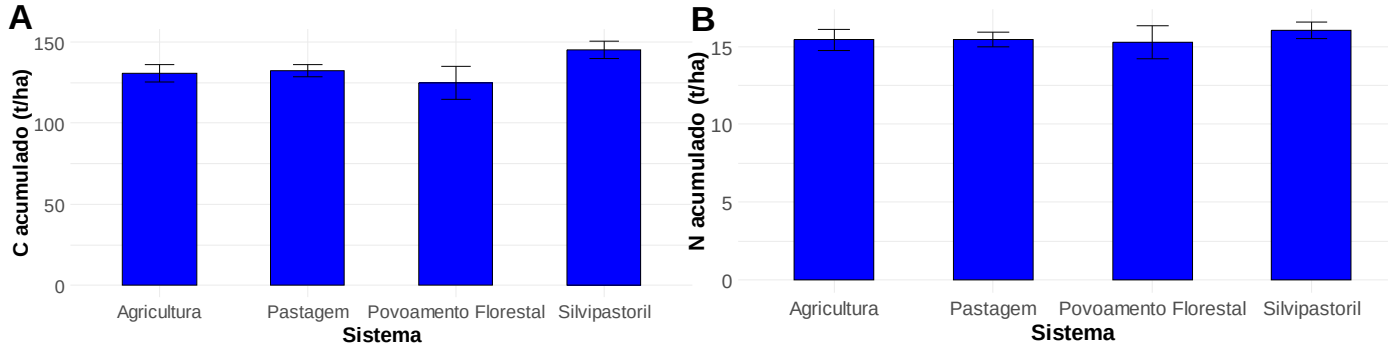


Figura 2. Estoque de carbono (A) e nitrogênio (B) acumulados em t/ha na camada de 0-100 cm em diferentes sistemas de uso do solo.

O sistema IPF, provavelmente por ser bem manejado, contribui para aumento do carbono do solo pelo adição constante da braquiária, estimulada pelo pastejo e com sistema radicular profundo, aumentado a quantidade de matéria orgânica em profundidade (Bieluczyk *et al.*, 2017), além disso no sistema IPF a presença de eucaliptos pode contribuir com o aumento na concentração de C em profundidade, devido a decomposição das raízes e a liberação de exsudatos radiculares, e raízes finas de eucaliptos com comprimento de ~3m apresentam alta relação C:N, aumentando o teor de matéria orgânica e consequentemente a concentração de C (Bieluczyk *et al.*, 2018).

CONCLUSÕES

O sistema IPF (integração pecuária-floresta) apresentou maior acúmulo de C e N no solo, semelhante ao verificado no sistema agrícola, cuja adição de insumos é relativamente maior e frequente. Isso demonstra a maior eficiência do sistema IPF na utilização dos nutrientes em favor de manter a produtividade e a atividade biológica efetiva pelo acúmulo de carbono e nitrogênio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Klabin S.A. e a Embrapa (20.21.00.030.00.00) pela parceria no desenvolvimento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

BIELUCZYK, W. **Crescimento e decomposição de raízes finas e qualidade do solo sob sistemas integrados de agricultura, pecuária e floresta (São Carlos – SP)**. 2018. 153f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BIELUCZYK, W; PEREIRA, M.G.; GUARESCHI, R.F.; BONETTI, J.A.; SILVA, G.N.; SILVA NETO, E.C. Soil carbon and nitrogen stocks, light organic matter, and remaining phosphorus under a crop-livestock integration system. **Semina:** Ciências Agrárias, v. 38, n. 4, p. 1825-1840, 2017.

BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M.C.; PEREIRA, M.G.; MORAES, M.T.; SOLTANGHEISI, A.; BERNARDI, A.C.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; MOREIRA, M.Z.; CAMARGO, P.B.; DIAS, C.T.S.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M.R. Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 371, 2020.

BRASIL. **National Plan for Low Carbon Emission in Agriculture** (ABC Plan). 2018. Disponível em: http://redd.mma.gov.br/en/legal-and-public-policy-framework/national-plan-for-low-carbon-emission-in-agriculture-abc-plan. Acessado em: 20 de fevereiro, 2025.

NITSCHE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; PINTO, L.F.D. Atlas Climático do Estado do Paraná. **Instituo Agronômico do Estado do Paraná**. 2019.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 919-923, 2008.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3° edição, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos. Brasília, 2017. P. 65-75.

SISTI, C.P.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

STEFANO, A.; JACOBSON, M.G. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. **Agroforestry Systems**, v. 92, p. 285-299, 2018.

VIOLA, E.; MENDES, V. Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, p. 1-20, 2022.

YANG, X.; MA, S.; HUANG, E; ZHANG, D.; CHEN, G.; ZHU, J.; JI, C.; ZHU, B.; LIU, L.; FANG, J. Nitrogen addition promotes soil carbon accumulation globally. **Science China Life Sciences**, v. 68, n. 1, p 284-293, 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CARBONO DA MATÉRIA ORGÂNICA PARTICULADA E ASSOCIADA A MINERAIS INFLUENCIADOS SOB O MANEJO DE PASTAGEM EM COMPARAÇÃO A MATA NATIVA.

Stefanie do Prado da Silva[1*], Renato Paiva de Lima[2], Zigomar Menezes de Souza[2], Rafael Braghieri Menillo[3], Maurício Roberto Cherubin[4].

[1](Estudante de Mestrado) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, [2](Professor) Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, [3](Estudante de Doutorado) Universidade de São Paulo - ESALQ USP, [4](Professor) Universidade de São Paulo - ESALQ USP.
*s230612@dac.unicamp.br

RESUMO

A matéria orgânica do solo (MOS) sofre alterações devido ao manejo utilizado, em razão do acúmulo de resíduos vegetais. O carbono, componente central da MOS, está presente em frações como a matéria orgânica particulada (MOP) e a matéria orgânica associada a minerais (MOAM). Este estudo buscou avaliar se sistemas de pastagens agrícolas (PA) elevam os teores de carbono da MOS e de suas frações. As amostras foram coletadas em Jardim Olinda-PR, em três profundidades (0,0–0,1 m; 0,1–0,2 m; 0,2–0,3 m) e cinco pontos amostrais por área. Utilizou-se fracionamento físico para separar MOP e MOAM, seguido de análise em Elemental Analyzer. Os resultados indicaram que a pastagem apresentou maiores teores de carbono total e MOP nas camadas superficiais, devido à presença de resíduos vegetais e uso de plantas C4. A MOAM também foi mais abundante na PA. Conclui-se que a pastagem favorece o acúmulo de carbono no solo.

PALAVRAS-CHAVE: carbono; frações da matéria orgânica; pastagem.

INTRODUÇÃO

A preservação e a manutenção da qualidade do solo (QS) têm tido maior notoriedade a partir dos anos 90, gerando preocupações quanto a excessiva degradação dos recursos naturais, o que implica em medidas de sustentabilidade agrícola, sendo assim, tem sido utilizados indicadores para possibilitar a aferição desta qualidade e comparação com índices adequados e desejáveis de um solo saudável (Vezzani, 2009; Chaer, 2001; Melo Filho *et al*., 2007).

Sojka e Upchurch (1999) explicam que a QS pode variar dependendo de cada cenário em que o solo se encontra, como a sazonalidade, devido as condições climáticas e diferentes classificações de solo; manejo agrícola de produtores, implicando muitas vezes em práticas inadequadas e excessivas; e por fim, o sistema de cultivo, em que sistemas convencionais de pecuária extensiva se aplicam como exemplo, do qual segundo Bartholomeu (2009) e Dias Filho (2014) eles implicam em grande parte de superlotação do pasto e pisoteio excessivo, afetando certos atributos de qualidade do solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) é um componente importante no conjunto de atributos que aferem a qualidade do solo, tendo o carbono como principal constituinte de sua composição, sendo assim, o carbono é estimado para determinar os teores das frações orgânicas no solo, além disso, a MOS é utilizada como parâmetro de avaliação de sistemas agrícolas e manejos culturais (Silva e Mendonça, 2007; Mielniczuk, 2008; Rheinheimer *et al*., 2008).

Outros fatores essenciais para aferir os teores de MOS são os seus fracionamentos, correspondendo ao carbono da matéria orgânica particulada (MOP) e carbono da matéria orgânica associada a minerais (MOAM), sendo a MOP definida como partículas provenientes de resíduos vegetais e outros componentes mantidos sobre os agregados, enquanto a MOAM é descrita como a fração que interage e está associada as partículas minerais de argila, silte e areia, mantida sob os coloides do solo e formando a estrutura organomineral (Nanzer, 2019; Loss *et al*., 2009)

Dessa forma, espera-se que a área de pastagem (PA) apresente maiores médias de carbono total e de suas frações, MOP e MOAM, em relação a mata nativa (NF), devido ao uso prioritário de plantas C4 como

forrageiras. Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar se sistemas de pastagens agrícolas elevam os teores de carbono da matéria orgânica do solo e de suas frações.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido com a coleta de amostras de solo na região Sul do Brasil, especificamente no município de Jardim Olinda-PR, em uma propriedade agrícola comercial (22°34'29.8"S 52°03'24.3"W). O solo da área é classificado como Latossolo de textura franco argila arenosa, apresentando 73% de areia, 2% de silte e 25% de argila, sendo identificado como C_{25} devido ao teor de argila.

As amostras foram coletadas em duas áreas distintas: uma de mata nativa (NF) e outra sob uso agrícola com pastagem (PA), utilizando cinco pontos amostrais para cada área, distribuídos aleatoriamente.

Para a coleta, foram abertas mini-trincheiras com dimensões de 0,40 × 0,40 × 0,40 m por meio de uma pá. As amostras indeformadas de solo foram extraídas com anéis volumétricos de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura, sendo retiradas de três profundidades separadas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m), resultando em 30 pontos amostrais, sendo o experimento conduzido em delineamento inteiramente casualizado.

Em laboratório, realizou-se o fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS), segmentando está em matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada a mineirais (MOAM) a partir do método de tamanho de partículas, desenvolvido por Cambardella e Elliott (1992). Os agregados foram peneirados em malha de 2,00 mm e 5 gramas de cada amostra foi dispersa em hexametafosfato de sódio sob agitador horizontal por 16 horas, logo após, esse material foi passado em malha de 53 µm para determinação de cada segmento fracionado, sendo >53 µm a POM e <53 µm a MAOM.

Para determinar o teor de C, os materiais obtidos do fracionamento foram secos em estufa com 50°C, moídos e peneirados em 100 mesh, para a extração deste teor, utilizou-se um Elemental Analyzer – LECO/Truspec. Quanto ao C total (CT), foi realizado a soma de ambas as frações para sua obtenção.

A avaliação estatística dos dados foi realizada por meio do teste T para comparação de médias, a fim de verificar a significância dos tratamentos. Para a execução das análises, utilizou-se o software R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O carbono total do solo apresentou maior média significativa no sistema de pastagem (tabela 3), isso decorre, segundo Nanzer (2018), devido ao sistema radicular de plantas forrageiras, do qual possui alta ramificação, e ao crescimento em touceira da parte aérea, que fornece maior volume de resíduos orgânicos, além disso, o cultivo para pastos tendem a ser de plantas C4, das quais elevam os teores de carbono no solo em superfície segundo Barreto *et al*. (2008) e Carneiro *et al*. (2009), o que explica a maior média de carbono total na camada 0,0-0,1 em comparação as demais mais profundas na pastagem.

Enquanto ao Carbono das frações da matéria orgânica do solo, nota-se que mantiveram um cenário semelhante ao CT, como podemos ver na tabela 1, onde a área de PA obteve maiores médias de MOP somente nas camadas mais superficiais 0,0-0,1 e 0,1-0,2m em comparação a mata nativa (NF), em razão de sistemas que fornecem maior teor de resíduos vegetais em camadas superficiais, dos quais tendem a aumentar a MOP, devido ao fato de a composição da matéria orgânica particulada ser em grande parte formada por material vegetal depositado sobre o solo e unido a agregados (Loss *et al*., 2011; Rossi *et al*., 2011).

Quanto o carbono da MOAM (tabela 2), as maiores médias foram na PA, nas três camadas (C1, C2 e C3) em relação a mata nativa. Loss *et al*. (2009) em seus resultados com sistemas agroflorestais afirmam que este tipo de fração foi pouco influenciado pelo manejo adotado, porém, ao contrário deste, o presente estudo focou em pastagens com cultivo de gramíneas, das quais possuem alta relação C/N, resultando em

uma decomposição lenta dos resíduos vegetais, contribuindo com o aumento do teor de MOAM (Silva e Mendonça, 2007).

Tabela 1. Representação das médias de carbono da matéria orgânica particulada (MOP) obtidas pelo teste T em 3 profundidades e suas comparações em diferentes sistemas.

Sistemas	Carbono da Matéria Orgânica Particulada (Mg ha^{-1})		
	0,0 - 0,1 m (C1)	0,1 - 0,2 m (C2)	0,2 - 0,3 m (C3)
Mata Nativa (NF)	4,419*	2,539*	2,536*
Pastagem (PA)	5,421*	3,192*	1,952*
p-valor (NF)	0.0036118114	2.122907e-05	0.0004752105
p-valor (PA)	0.0008074534	1.714684e-04	0.0001869311

*: Significativo pelo teste T (p<0,05).

Tabela 2. Representação das médias de carbono da matéria orgânica associada a minerais (MOAM) obtidas pelo teste T em 3 profundidades e suas comparações em diferentes sistemas.

Sistemas	Carbono da Matéria Orgânica Associada a Minerais (Mg ha^{-1})		
	0,0 - 0,1 m (C1)	0,1 - 0,2 m (C2)	0,2 - 0,3 m (C3)
Mata Nativa (NF)	6,410*	4,354*	3,891*
Pastagem (PA)	9,254*	6,428*	5,577*
p-valor (NF)	2.259967e-04	3.452298e-05	5.086024e-06
p-valor (PA)	5.541872e-05	5.482717e-05	1.369416e-04

*: Significativo pelo teste T (p<0,05).

Tabela 3. Representação das médias de Carbono Total (CT) obtidas pelo teste T em 3 profundidades e suas comparações em diferentes sistemas.

Sistemas	Carbono Total (Mg ha^{-1})		
	0,0 - 0,1 m (C1)	0,1 - 0,2 m (C2)	0,2 - 0,3 m (C3)
Mata Nativa (NF)	10,830*	6,893*	6,428*
Pastagem (PA)	14,675*	9,621*	7,529*
p-valor (NF)	5.981912e-04	4.808902e-06	6.204119e-06
p-valor (PA)	8.143423e-06	4.552874e-05	1.289562e-04

*: Significativo pelo teste T (p<0,05).

CONCLUSÕES

O sistema de pastagem apresentou maiores teores de carbono total e das frações de matéria orgânica do solo na camada superficial, principalmente devido à alta ramificação do sistema radicular das forrageiras e à composição de plantas C4. Esses resultados indicam que o manejo com pastagem favorece o acúmulo de carbono no solo, especialmente nas camadas superiores, em comparação com a mata nativa.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

BARRETO AC *et al*. 2008. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32: 1471-1478

BARTHOLOMEU, D.B. Análise das Emissões de GEE, ameaças e oportunidades para o setor agropecuário brasileiro. Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Cuiabá, 2009.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal, v.56. p.777-783, 1992.

CARNEIRO MAC *et al*. 2009. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 33: 147-157

CHAER, G.M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa,MG. 2001. 89f.

DIAS-FILHO, M.B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Belém – PA; Embrapa Amazônia Oriental, 2014, 36 p. ISSN 1983-0513;402.

LOSS A. 2011. Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no cerrado goiano. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Rio de Janeiro: UFRRJ. 122p.

LOSS A et al. 2009. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. Ciência Rural 39: 1067-1072.

MELO FILHO, J. F; SOUZA, A.L.V; SOUZA, L.S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.6, p.1599-1608, 2007.

MIELNICZUK J. 2008. Matéria orgânica e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. *In:* SANTOS GA et al. eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo –ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole. p. 1-5

NANZER, Marina Chiquito *et al*. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

RHEINHEIMER DS et al. 2008. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32: 435-440

ROSSI CQ *et al*. 2011. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhadade braquiária e sorgo. Bragantia 70: 622-630.

SILVA IR & MENDONÇA ES. 2007. Matéria orgânica do solo. *In:* NOVAIS RF *et al*. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS. p. 275-374.

SOJKA, RE; UPCHURCH, DR Reservas quanto ao conceito de qualidade do solo. Soil Science Society of America Journal , v. 63, p. 1039-1054, 1999.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. Revista brasileira de ciência do solo, v. 33, p. 743-755, 2009.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ESTOQUE DE CARBONO EM UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB DIFERENTES USOS

Dafne Beatriz Alves[1*], Alesson Felipe Movio Lovison[1], Stephanie dos Santos Locatelli[2], Emanuele Helmann Nunes[3], João Tavares Filho[3]

[1]Estudantes de graduação da Universidade Estadual de Londrina; [2]Estudante de Doutorado da Universidade Estadual de Londrina; [3]Professor (a) e pesquisador (a) da Universidade Estadual de Londrina. *dafne.beatriz.alves@uel.br

RESUMO

A conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola reduz os estoques de carbono orgânico no solo. Este estudo avalia o efeito do uso de um solo arenoso sobre os estoques de carbono em três áreas: mata nativa, pastagem manejada e cultivo de soja. Amostras de solo foram coletadas em duas profundidades: 0-10 cm e 10-20 cm, e as análises realizadas foram de determinação da densidade pelo método do anel volumétrico e carbono orgânico total pelo método Walkley-Black. Os resultados indicam que a mata nativa apresentou os maiores estoques de carbono em ambas as profundidades (3,58 Mg ha^{-1}), seguida pela pastagem, que não apresentou diferença em relação à mata na camada superficial (0-10 cm), mas teve uma redução no estoque na camada de 10-20 cm. O cultivo de soja demonstrou os menores estoques de carbono nas duas profundidades avaliadas, evidenciando a necessidade de práticas conservacionistas para mitigar essas perdas.

PALAVRAS-CHAVE: carbono orgânico; manejo do solo; sustentabilidade; fertilidade do solo; conversão de ecossistemas.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos, impulsionada pelo aumento populacional global, tem intensificado a pressão sobre os solos agrícolas, resultando em mudanças significativas no uso da terra. A conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola pode alterar significativamente os estoques de carbono nos solos, influenciando os fluxos de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4) (BALL *et al*., 1999; SUWANWAREE e ROBERTSON, 2005; BAGGS *et al*., 2006; MOJEREMANE *et al.,* 2011). Pesquisas têm demonstrado que a conversão de mata para áreas agrícolas afeta diretamente os estoques de carbono orgânico, o carbono orgânico total e a densidade do solo (RAMOS *et al*., 2023).

O carbono orgânico do solo desempenha um papel essencial na manutenção da fertilidade, na melhoria da estrutura do solo e no sequestro de carbono atmosférico, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (FENG, 2020: FIGUEIREDO *et al*., 2017; RAMIREZ-RESTREPO *et al*., 2020). A adoção de práticas agrícolas sustentáveis é uma estratégia fundamental para preservar e aumentar os estoques de carbono orgânico no solo. Essas práticas promovem a adição de matéria orgânica, estimulam a atividade microbiana e favorecem a formação de agregados estáveis, melhorando a qualidade física e química do solo.

Solos arenosos são mais vulneráveis ao manejo, uma vez que a fração de carbono associada às partículas de areia é mais suscetível à mineralização, tornando esses ambientes propensos à degradação (Bernoux *et al*., 1999). Nesse sentido, compreender como diferentes usos e práticas agrícolas influenciam a capacidade de um solo em estocar carbono é fundamental para desenvolver práticas que promovam a sustentabilidade agrícola e ambiental, além de contribuir para a manutenção da fertilidade e a mitigação das emissões de carbono. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de diferentes usos do solo no estoque de carbono de um solo arenoso.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas estudadas estão localizadas no município de Rio Branco do Ivaí - PR (24° 20’ 16,139” S e 51° 18’ 17,957 W; altitude média de 650 m), localizado na Região Norte Central Paranaense (IBGE, 2020). O clima é caracterizado como subtropical úmido (Cfa, conforme a classificação de Köppen), com temperaturas

médias de 20 °C e precipitação média anual de 1650 mm. O solo é classificado como Latossolo Vermelho amarelo, de textura arenosa.

Para estudar o efeito do uso do solo, foram selecionadas três áreas distintas: uma mata nativa destinada a reserva legal e duas áreas agrícolas, sendo uma com sistema de sucessão soja e milho ou aveia em plantio direto, e outra de pecuária com pastagem perene com forrageiras da espécie *Brachiaria decumbens* e *B. brizantha* cv. Marandu, em um sistema extensivo, para atividade de bovinocultura de corte e leite. Ambas as áreas agrícolas estão com os mesmos usos há mais de 10 anos.

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para a análise física: densidade do solo e química: carbono orgânico total, respectivamente. Foram selecionados 5 pontos para cada área e a coleta foi realizada em duas profundidades diferentes: 0-10 e 10-20 cm. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC). As variáveis analisadas foram: a densidade do solo pelo método do anel volumétrico EMBRAPA (1997) e carbono orgânico pelo método Walkley-Black descrito pela EMBRAPA (2017). Com os dados obtidos, o cálculo do estoque de carbono (Veldkamp, 1994), foi realizado com a seguinte fórmula.

$$EstC = (CO\ x\ Ds\ x\ e) / 10$$

onde: **EstC** - Estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (Mg.ha^{-1}); **CO** - Carbono orgânico total na profundidade amostrada (g.kg^{-1}); **Ds** - Densidade do solo na profundidade amostrada (kg.dm^{-3}); **e** - Espessura da camada considerada (cm)

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores valores de estoque de carbono (EstC) foram observados na área de mata nativa em ambas as profundidades (Tabela 1). Na camada mais superficial (0-10 cm) a pastagem apresentou valores similares à mata, com redução significativa no EstC na profundidade de 10-20. A área de sucessão soja apresentou os menores valores de EstC em ambas as profundidades, diferindo significativamente da mata e pastagem na camada de 0-10, e diferindo da mata na camada 10-20. Nota-se que nos sistemas agrícolas, os valores de EstC diminuíram em profundidade, e na mata, aumentou.

Tabela 1. Estoque de Carbono em áreas sob diferentes usos em um solo arenoso localizado em Rio Branco do Ivaí – PR.

Tipo de uso	Estoque de Carbono (Mg ha^{-1})	
	0-10 cm	**10-20 cm**
Mata Nativa	3,16 a	3,58 a
Soja	1,96 b	1,69 b
Pastagem	3,09 a	2,36 b
CV (%)	26,65	19,06

Uma menor quantidade de EstC na área agrícola com culturas anuais pode ser atribuída à intensificação do uso do solo, com revolvimento, aplicação de insumos químicos e sucessão de culturas sem a adoção de práticas conservacionistas mais eficazes. O cultivo da soja, apesar de contar com sucessão com milho ou aveia e manutenção da cobertura com palhada (plantio direto), ainda apresentou menor capacidade de manter os estoques de carbono no solo quando comparado à pastagem e à mata nativa. Estudos apontam que a conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas reduz significativamente o EstC do solo devido ao aumento da mineralização da matéria orgânica e à menor adição de resíduos orgânicos ao sistema (Bernoux *et al*., 1999; Ramos *et al*., 2023).

A pastagem, por sua vez, apresentou valores intermediários de EstC, não diferindo estatisticamente da mata nativa na superfície, apenas na camada de 10-20 cm. Esse resultado pode estar associado à deposição contínua de matéria orgânica no solo por meio do sistema radicular das gramíneas (*Brachiaria* spp.). Além disso, uma menor mobilização do solo na pastagem extensiva pode contribuir para reduzir as taxas de reserva da matéria orgânica e manter o carbono armazenado no solo (JANTALIA *et al*., 2006; SEGNINI, 2007; FISHER, BRAZ *et al*., 2007; BODDEY *et al*., 2010).

A importância da conservação dos estoques de carbono no solo vai além da fertilidade e estrutura física do solo, desempenhando também um papel importante na mitigação das mudanças climáticas por meio do sequestro de carbono atmosférico (ASSAD *et al*., 2013; TORRES *et al*., 2014). A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas, plantio direto e incremento de matéria orgânica, pode ser uma estratégia fundamental para minimizar a perda de carbono e melhorar a qualidade do solo nesses sistemas.

CONCLUSÕES

Os diferentes usos do solo alteram significativamente os estoques de carbono, sendo que o cultivo de soja resulta na maior redução em comparação à pastagem. O monitoramento desses estoques e a implementação de estratégias adequadas não apenas auxiliam na manutenção da produtividade agrícola, mas também contribuem para a mitigação das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa concedida de iniciação científica, Departamento de Agronomia, Laboratório de Solos UEL e Universidade Estadual de Londrina.

BIBLIOGRAFIA

BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P. Field N_2O, CO_2 and CH_4 fluxes in relation to tillage compaction and soil quality in Scotland. **Soil and Tillage Research**, v. 53, p. 29-39, 1999.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Editora Mecenas, 2017.

BAGGS, E. M.; CHEBII, J.; NDUFA, J. K. A short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. **Soil and Tillage Research**, v. 90, p. 69-76, 2006.

CALONEGO, J. C. *et al*. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 128-135, 2012.

COSTA, O. V. *et al*. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1137-1145, 2009.

FENG, Q. *et al*. Can deep tillage enhance carbon sequestration in soils? A meta-analysis towards GHG mitigation and sustainable agricultural management. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, e110293, 2020.

FIGUEIREDO, E. C. C. *et al*. **Estoque de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2017. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 121).

MOJEREMANE, W.; REES, R. M.; MENCUCCINI, M. The effects of site preparation practices on carbon dioxide methane and nitrous oxide fluxes from a peaty gley soil. **Forestry**, v. 19, p. 1-15, 2011.

PELLEGRINI, A.; BARBOSA, G. M. C. **Manejo e conservação de solo e água**: volume 1. Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. 304 p.

RAMIREZ-RESTREPO, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. *In:* BUNGENSTAB, D. J. (ed.). **Sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta**: a produção sustentável. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. cap. 2, p. 08-20.

RAMOS, H. M. M. *et al*. Estoque de carbono de um neossolo quartzarênico sob diferentes usos. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 1, p. 910-922, 2023.

SUWANWAREE, P.; ROBERTSON, G. P. Methane oxidation in forest, sucessional, and no-till agricultural ecosystems: effects of nitrogen and soil disturbance. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 1722-1729, 2005.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

IMPACTO DO MANEJO DE RESÍDUOS DA COLHEITA E ADUBAÇÃO SOBRE O ACÚMULO DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE *PINUS TAEDA* L.

Franciele Alba[1], Josileia Acordi Zanatta[2*], Laura Cristiane Nascimento de Freitas[3]
[1]Bolsista da Embrapa Florestas; [2]Pesquisadora da Embrapa Florestas, *josileia.zanatta@embrapa.br; [3]Estudante de doutorado do PPG Ciência do Solo da UFPR

RESUMO

Durante a colheita, plantações de Pinus geram grandes quantidades de resíduos e recentemente tornou-se interessante usar esse material para cogeração de energia elétrica, em detrimento de estudos que indicam a necessidade de manter adição de resíduos para suprir a espécie florestal. Assim, o estudo objetivou avaliar como o manejo desses resíduos e a aplicação de fertilizantes de forma compensatória afetam o sequestro de carbono em plantações de *Pinus taeda* L. no Paraná. O experimento, realizado na Embrapa Florestas, incluiu quatro tratamentos com combinações de manejo de resíduos e adubação. A análise dos dados utilizou modelos de efeitos mistos lineares, considerando a correlação temporal dos dados. Resultados indicam que o tratamento com resíduo e fertilizante (R+F) maximizou o acúmulo de carbono. A pesquisa sugere que tanto o manejo de resíduos quanto o uso de fertilizantes contribuem significativamente para o sequestro de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: solo; resíduo; fertilizante; carbono; floresta.

INTRODUÇÃO

O manejo adotado em florestas plantadas pode potencializar ou mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para a atmosfera. As florestas plantadas produzem grandes quantidades de resíduos vegetais, principalmente durante as operações de colheita, sendo compostos basicamente por galhos e cascas, (ponteiras e folhas) (Penna-Vergara, 2022).

A porcentagem da biomassa das espécies de pinus que se transforma em resíduos na colheita varia de acordo com o tipo de plantio e as condições de manejo (Daystar *et al*., 2012, Neumann *et al*., 2023). De maneira geral, pesquisas indicam que cerca de 20 a 40% da biomassa total de pinus pode ser composta por resíduos durante a colheita (Penna-Vergara, 2022). Especificamente, estudos mostram que, em plantios de Pinus *taeda* L., os resíduos podem chegar a 20,1% da biomassa total, incluindo sub-bosque (Daystar *et al*., 2012). Devido ao volume considerável, é fato que há um crescente interesse no uso dos resíduos da colheita para cogeração de energia por plantas industriais. Essa estratégia geralmente está vinculada a reposição de nutrientes pela fertilização da espécie florestal. Tanto a prática da retirada de resíduos, quanto a fertilização podem gerar um novo equilíbrio na relação solo-planta-atmosfera, impactando processos biológicos como a emissão de gases de efeito estufa e a dinâmica do carbono no solo. Dessa forma, pesquisas voltadas à investigar a retirada dos resíduos vegetais da colheita e como a fertilização pode compensar esse ausência, sobretudo na promoção do crescimento da própria floresta e na dinâmica do acúmulo de carbono n biomassa vegetal, são de grande interesse.

Neste contexto, o presente trabalho abordou a seguinte pergunta científica: C*omo práticas de manejo dos resíduos da colheita de pinus afetam a capacidade das florestas de sequestrar carbono ao longo do tempo?* Para responder essa pergunta, o objetivo da pesquisa foi avaliar a influência do manejo do resíduo remanescente pós-colheita e da aplicação de fertilizantes sobre os estoques de carbono em plantações comerciais de Pinus *taeda* L. no estado do Paraná, ao longo de um período de cinco anos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Florestas), localizada no Município de Colombo, Paraná. O experimento foi instalado

em junho de 2019 com o plantio de mudas da espécie Pinus *taeda* L., após a colheita de um talhão de pinus de 35 anos de idade. Os tratamentos, que correspondem aos sistemas de manejo da área experimental, combinaram o manejo do resíduo da colheita (retenção ou remoção) com a adubação N-P-K (Nitrogênio – Fósforo - Potássio). Nos tratamentos com adubação, foram aplicados 50 kg. ha^{-1} de N, 60 kg. ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg. ha^{-1} de K_2O, conforme recomendação para a espécie florestal do estudo. A adubação de N foi dividida em 2 parcelas iguais aplicadas em 04/12/2019 e 04/03/2020. Os quatro tratamentos implementados no estudo foram: 1. Sem resíduo de colheita e sem fertilizante (sR-F); 2. Com resíduo de colheita (36 Mg MS/ha) e sem fertilizante (R-F); 3. Sem resíduo de colheita e com fertilizante (sR+F); 4. Com resíduo de colheita e com fertilizante (R+F). O delineamento experimental utilizado consistiu em blocos ao acaso, constituídos de três blocos. Cada parcela contempla 70 mudas de Pinus *taeda* L. dispostas no espaçamento de 2x3 m.

Após nove meses (0,75 anos) da implantação do experimento, houve a realização do primeiro inventário, seguido por novas medições aos 1,3; 1,8; 2,6; 3,25; 3,41; 4; 4,6 e 5,3 anos. Os primeiros levantamentos consideraram a mensuração da altura das árvores (em m) e o diâmetro do colo da muda (em cm). Após determinada idade em que as árvores atingiram mais de 1,30 metros do solo (1 ano após o plantio), aferições do Diâmetro a Altura do Peito (DAP) passaram a ser realizadas. Os levantamentos foram sempre realizados nas 18 árvores centrais de cada parcela. Com essas informações foi estimada a biomassa vegetal da parte aérea adotando a equação alométrica desenvolvida por Higa *et al*. (2005) para a mesma espécie. O estoque de carbono foi estimado considerando 47% da biomassa vegetal.

Objetivando analisar os dados coletados e considerando a complexidade da estrutura hierárquica dos dados concomitante com a presença de correlação temporal, optou-se pelo emprego de um modelo Efeitos Mistos Lineares (*Linear Mixed-Effects Model*). A arquitetura foi ajustada a partir da utilização do método de Estimação Máxima de Verossimilhança Restrita (REML) e implementada com base na estrutura dos dados, que contemplam múltiplas observações agrupadas por unidade experimental.

Os efeitos aleatórios foram modelados considerando uma interceptação aleatória para cada unidade experimental, permitindo que cada grupo possuísse sua própria interceptação, o que reflete a variabilidade intrínseca entre os grupos. A avaliação da estrutura dos efeitos aleatórios deriva da estimativa dos desvios-padrão da interceptação aleatória e dos resíduos. Dada a natureza temporal dos dados, foi adotada uma estrutura de correlação autoregressiva de primeira ordem, ajustada para cada unidade experimental (~Tempo | Árvore).

Os efeitos fixos modelados consideraram a variável resposta Estoque de Carbono como função dos fatores Tratamento, Tempo e Bloco, bem como suas interações. O modelo completo incluiu os termos de interação de segundo e terceiro grau, permitindo a avaliação das relações não aditivas entre as variáveis preditoras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo inclui uma interação tripla entre Tratamento, Tempo e Bloco, o que significa que o efeito de Tratamento no estoque de carbono pode variar de acordo com o Tempo e o Bloco. Isso permitiu capturar possíveis mudanças nos efeitos do tratamento ao longo do tempo e em diferentes blocos.

O efeito do tratamento (p-valor de 0.4675) indica que, em média, o tratamento não tem um efeito direto significativo sobre o estoque de carbono das árvores até a idade avaliada. Em contrapartida, tanto o efeito da variável Tempo (p-valor de 0.0001), Bloco (p-valor de 0.0314) e Tempo:Bloco (p-valor de 0.0000) a presentaram níveis satisfatórios de significância, sugerindo que a quantidade de carbono sofre alterações d e acordo com os locais e ao longo do tempo. Essas e outras informações podem ser observadas com base n a Figura 1, na qual apresenta a influência dos diferentes tratamentos na evolução do estoque de carbono e m plantações de Pinus *taeda* L. ao longo dos anos.

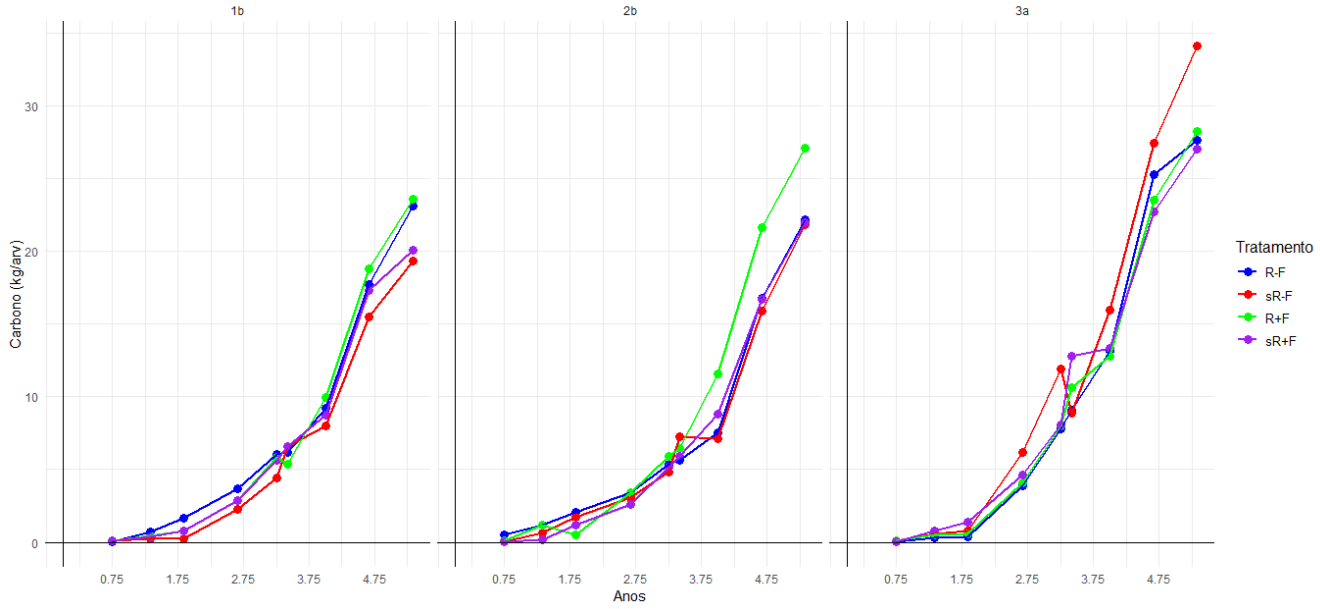


Figura 1. Comportamento médio do aumento do estoque de carbono médio por árvore ao longo dos anos para os diferentes tratamentos e blocos.

É perceptível que os estoques de C aumentaram em todos os blocos, conforme a análise temporal avança, ressaltando o crescimento acelerado a partir do terceiro ano. Essa característica é esperada nos povoamentos de Pinus, isto é, à medida que as árvores crescem e acumulam maior volume, biomassa e, consequentemente, estoque de carbono. Numericamente, aos 3 anos cada árvore contém aproximad amente 5 kg C, e chega a mais de 20 kg aos 5 anos (em média 8,31 t/ha e 35,69 t/ha respectivamente). Num povoamento uniforme, a taxa de acúmulo de carbono por hectare entre 3-5 anos é de aproximadamente 18,4 tC (Balbinot *et al*., 2003).

O tratamento R+F (Resíduo com Fertilizante) apresentou os maiores estoques de carbono nos blocos 1 e 2, indicando que a aplicação de fertilizante juntamente com o manejo de resíduos aumenta significativamente o acúmulo de carbono nas árvores. Por outro lado, o tratamento sR-F (sem Resíduo sem Fertilizante) tende a apresentar os menores estoques de carbono nos blocos 1 e 2, sugerindo que tanto a ausência de resíduos quanto a ausência de fertilizantes reduzem o crescimento das árvores e o acúmulo de carbono. Isso reforça a importância da fertilização para o aumento da produtividade e do acúmulo de carbono nas plantações de Pinus. Entretanto, esse comportamento não se observou no bloco 3, o que provavelmente indica a presença de algum fator local que contribuiu para o resultado, porém não ouve diferença significativa dos demais tratamentos.

O tratamento R-F (Resíduo sem Fertilizante) e sR+F (sem Resíduo com Fertilizante) apresentam comportamento intermediário, com flutuações entre os blocos, preconizando que o manejo dos resíduos ou a adição de fertilizantes isoladamente tem efeitos diferentes dependendo do local do bloco.

Embora a tendência geral de aumento de carbono ao longo dos anos seja consistente, há variação nos valores absolutos entre os blocos (1b, 2b, 3a), com o bloco 3 mostrando os maiores valores de carbono em quase todos os tratamentos. Isso pode indicar diferenças nas condições iniciais do solo, microclima, relevo (Watzlawick *et al*., 2013, Cubas *et al*., 2016), ou outros fatores ambientais que influenciam o crescimento das árvores e o acúmulo de carbono como a vegetação vizinha e questões antrópicas próximas a esse local, que, influenciaram o crescimento até a idade em estudo (Lima *et al*., 2022).

CONCLUSÕES

A pesquisa sugere que, em estágios iniciais de crescimento, as reservas de carbono são relativamente baixas, mas aumentam significativamente à medida que as árvores crescem. Tanto o manejo de resíduos quanto o uso de fertilizantes influenciam positivamente o acúmulo de carbono em plantações de Pinus *taeda* L no sul do Brasil. O tratamento que combina resíduo com fertilizante (R+F) resulta nos maiores estoques de carbono, o que indica ser a melhor estratégia para maximizar o sequestro de carbono ao longo dos anos. Para os estudos futuros é importante levar em consideração o relevo, vegetação e influência antrópica próximas a área de estudo e o microclima em cada bloco, buscando entender como esses fatores influenciam a variação observada no acúmulo de carbono entre os blocos. Além disso, é importante integrar cenários climáticos futuros para avaliar como diferentes práticas de manejo do resíduo da colheita e do solo responderão a alterações no regime de chuvas, temperaturas e outras variáveis climáticas. Isso pode ajudar a identificar estratégias de manejo mais resilientes em cenários de mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Embrapa através do projeto 10.23.04.002.00.00 e ao Consórcio internacional C-arouNd.

BIBLIOGRAFIA

CUBAS, Rafael; COSTA, Emanuel Arnoni; ZANIZ, Viviane. Carbon contents and modelling of total organic carbon for *Pinus taeda* L. from natural regeneration. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 40, n. 4, p. 661-668, 2016

BALBINOT, Rafaelo; SCHUMACHER, Mauro Valdir; WATZLAWICK, Luciano Farinha; SANQUETTA, Carlos Roberto. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 1-12, jan./jun. 2003

DAYSTAR *et al*. Life-Cycle Assessment of Bioethanol from Pine Residues via Indirect Biomass Gasification to Mixed Alcohols. **Forest Products Journal**, v. 62, n. 4, p. 314-318, 2022.

HIGA RCV (2005) **Dinâmica de carbono de *Pinus taeda* L. voltadas a exigências climáticas e práticas silviculturais** [Relatório de pós-doutorado]. University of Florida, Gainesville

LIMA, R. *et al*. Fixação de carbono orgânico na biomassa de *Pinus taeda* L. em diferentes espaços vitais de crescimento. **Revista Instituto de Florestal**, v. 34, n. 2, p. 120-133, dez. 2022. DOI: 10.24278/2178-5031.202234202

NEUMANN, Klaus Werner; ZANATTA, Josiléia Acordi; RACHWAL, Marcos Fernando Glück. Manejo dos resíduos da colheita de pinus e os efeitos na emissão de gases de efeito estufa. **Anais do XXII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**, Colombo, PR, 24 de agosto de 2023.

PENA-VERGARA, Gabriel; CASTRO, Luis Roberto; GASPARRETTO, Carlos Alberto; BIZZO, Waldir Antonio. Energy from planted forest and its residues characterization in Brazil. **Energy**, v. 239, Part C, p. 122243, 15 jan. 2022. DOI: 10.1016/j.energy.2021.122243.

WATZLAWICK, Luciano Farinha; CALDEIRA, Marcos Vinicius Winckler; GODINHO, Tiago de Oliveira; BALBINOT, Rafaelo; TRAUTENMÜLLER, Jonathan William. Aboveground stock of biomass and organic carbon in stands of *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 509-517, Sept. 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVALIAÇÃO ESPACIAL DOS DADOS DISPONÍVEIS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NO BIOMA CERRADO

Débora Liriel Kerber Kempner[1*], Vitor Peruzzi de Almeida[2], Taciara Zborowski Horst[3], Alessandro Samuel-Rosa[3]

[1] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *deboraliriel@alunos.utfpr.edu.br; [2] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná; [3]Professor(a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

O bioma Cerrado enfrenta desafios relacionados à gestão e à escassez de dados sobre o estoque de carbono orgânico do solo (COS). Este estudo teve como objetivo mapear a distribuição espacial dos dados de COS no Cerrado, utilizando o repositório SoilData. A metodologia envolveu o resgate de dados georreferenciados e a análise espacial desses dados, utilizando o QGIS para a construção do mapa temático. Os resultados demonstraram que a maior concentração amostral de COS está localizada no estado de Minas Gerais. Em contrapartida, estados como Goiás, Tocantins, Distrito Federal, além de parte dos territórios da Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Rondônia, São Paulo e Paraná, apresentam dados escassos, comprometendo a representatividade espacial dos resultados. A pesquisa destaca a necessidade de fortalecer a integração de dados e promover a ciência aberta para uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos naturais do bioma.

PALAVRAS-CHAVE: dados abertos; SoilData; MapBiomas.

INTRODUÇÃO

O solo é um dos maiores reservatórios de carbono orgânico do planeta, desempenhando um papel essencial nos ecossistemas ao sustentar o crescimento vegetal, regular o ciclo da água e do ar, armazenar carbono e contribuir para a dinâmica dos nutrientes. A quantidade de carbono estocada no solo varia no espaço e no tempo e está em constante transformação, principalmente devido às mudanças no uso e cobertura da terra, que impactam diretamente esse estoque. Compreender essas variações é essencial para a implementação eficaz de programas de mitigação das mudanças climáticas (LAL, 2013).

No Cerrado, bioma de elevada biodiversidade e importância hidrológica, a expansão agrícola tem intensificado a degradação do solo, tornando imprescindível a produção e o compartilhamento de dados confiáveis (SANO *et al*., 2019). No entanto, a fragmentação e a escassez de informações integradas sobre os solos desse bioma dificultam a formulação de políticas eficazes de conservação, evidenciando a necessidade de um banco de dados acessível e interoperável.

A pesquisa em Ciência do Solo demanda dados confiáveis e acessíveis para garantir qualidade, transparência e reprodutibilidade científica, impulsionando avanços no conhecimento e em práticas sustentáveis. O Repositório Brasileiro de Dados de Solo (SoilData) centraliza, armazena e disponibiliza informações de diversas instituições, incentivando sua reutilização em estudos futuros e promovendo a ciência aberta (BENEDETTI *et al*., 2008; ANJOS, 2022).

Para a geração de uma série anual de mapas baseados em dados de estoque de carbono orgânico do solo (COS), é necessária a inclusão das coordenadas geográficas e temporais das coletas de campo. Quanto mais confiáveis e representativos forem esses dados, mais fielmente os mapas refletirão a realidade. Apesar dos avanços recentes, ainda persistem lacunas nos métodos de coleta, análise e integração dessas informações, limitando a capacidade de compreender os impactos do uso da terra e das mudanças climáticas na estocagem de carbono e na fertilidade dos solos do Cerrado (SILVA, 2013).

Nesse contexto, este estudo visa avaliar a disponibilidade de dados do estoque de COS no bioma Cerrado. A pesquisa contribui para ampliar o conhecimento sobre os solos do bioma e para destacar a importância da ciência aberta.

MATERIAL E MÉTODOS

Delimitação da Área de Estudo

O estudo foi conduzido no bioma Cerrado, localizado predominantemente na região central do Brasil. Esse bioma cobre aproximadamente 24% do território nacional e se caracteriza por solos altamente intemperizados, grande variabilidade na cobertura vegetal e crescente pressão antrópica devido à expansão agropecuária (FRANÇOSO *et al*., 2015).

A seleção das áreas de estudo considerou a disponibilidade de dados georreferenciados sobre o estoque de COS, obtidos no repositório SoilData. A Tabela 1 apresenta a distribuição das amostras por estado dentro do bioma Cerrado, indicando a área total, o número de pontos amostrados e a densidade amostral.

Tabela 1. Distribuição das amostras de estoque de COS por estado no bioma Cerrado.

Estado	Área (km²)	Nº de pontos amostrais	Densidade amostral
Pará	1.245.870	2	0,002
Distrito Federal	5.761	4	0,694
Paraná	199.298	8	0,04
São Paulo	248.219	21	0,085
Bahia	564.760	27	0,048
Tocantins	277.424	46	0,166
Mato Grosso	903.208	65	0,072
Rondônia	237.754	72	0,303
Piauí	251.755	99	0,393
Mato Grosso do Sul	357.142	107	0,3
Maranhão	329.651,5	146	0,443
Goiás	340.243	252	0,741
Minas Gerais	586.514	716	1.221

Fonte e Resgate de Dados

O estudo utilizou o repositório SoilData (https://soildata.mapbiomas.org/), que centraliza informações de propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos brasileiros, permitindo análises espaciais detalhadas. A maior parte dos dados foi obtida a partir de teses e dissertações, garantindo uma base científica

robusta. Os dados passaram por processos de curadoria, garantindo a compatibilidade entre diferentes conjuntos de informações para assegurar qualidade e consistência.

A seleção de dados ocorreu aplicando filtros para agrupar apenas amostras no bioma Cerrado com informações sobre COS. As variáveis extraídas incluíram coordenadas geográficas, datas de coleta e profundidades amostradas.

Ferramentas de Análise

As análises foram conduzidas com o software QGIS, ferramenta de código aberto para processamento de dados geoespaciais, e planilhas eletrônicas para organização preliminar dos dados. A análise espacial no QGIS foi fundamental para a construção do mapa de distribuição das amostras de estoque de COS, proporcionando a combinação e manipulação de dados geoespaciais e tabulares. A partir dessas análises, foi possível identificar o número de amostras disponíveis em cada estado que compõe o bioma do cerrado, identificando padrões de distribuição de dados do carbono orgânico no solo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise dos dados de COS no bioma Cerrado, foram obtidos a distribuição espacial em diferentes áreas do bioma, destacando as áreas com maior e menor concentração amostral de COS. De acordo com a análise dos dados geoespaciais e a visualização no QGIS, observa-se que a maior concentração amostral de COS no bioma está localizada no estado de Minas Gerais, com 716 pontos amostrais e uma densidade de 1,221 pontos/km², seguido por Goiás, com 252 pontos e densidade de 0,741 pontos/km² (*Figura 1*). Outros estados com número expressivo de amostras incluem Maranhão (146 pontos, 0,443 pontos/km²), Mato Grosso do Sul (107 pontos, 0,3 pontos/km²) e Piauí (99 pontos, 0,393 pontos/km²).

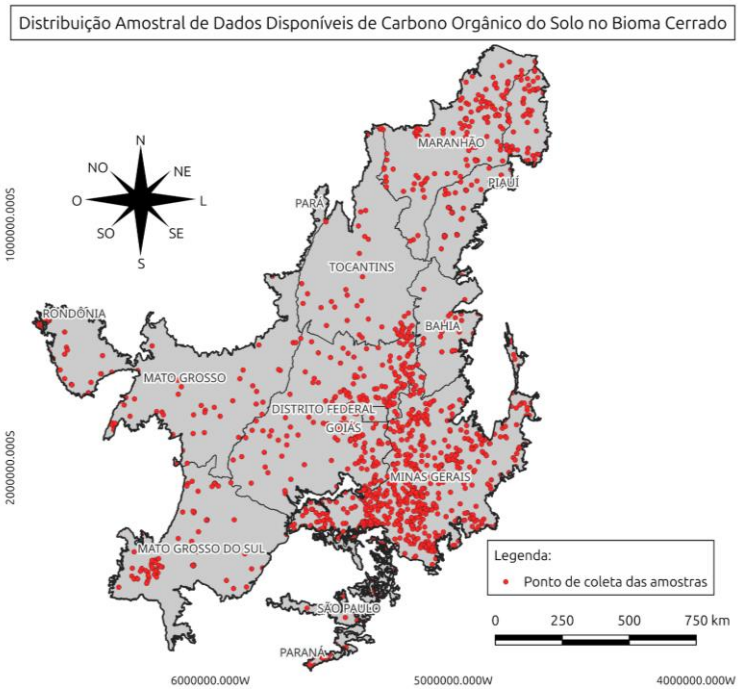


Figura 1. Mapa da Distribuição Espacial de Dados Disponíveis do Carbono Orgânico do Solo no Bioma Cerrado.

Em contraste, alguns estados apresentaram um número reduzido de amostras, como Pará, com apenas 2 pontos amostrais (0,002 pontos/km²), e o Distrito Federal, com 4 pontos (0,694 pontos/km²). A baixa densidade amostral nesses estados indica o limitado compartilhamento de dados provenientes de órgãos estaduais e privados. A escassez de informações em determinadas áreas pode comprometer a representação espacial dos estoques de COS desse bioma. Essa limitação nos dados reflete a falta de integração e compartilhamento de informações entre as diferentes fontes, o que pode impactar diretamente a capacidade de identificar as variações do estoque de carbono e, consequentemente, dificultar a ação de estratégias de conservação adequadas.

CONCLUSÕES

Conclui-se que as áreas com maior concentração de dados de COS no bioma Cerrado estão predominantemente localizadas na região Sudeste do bioma, especialmente no estado de Minas Gerais, que possui 716 pontos amostrais e a maior densidade amostral (1,221 pontos/km²). Em contrapartida, estados como Pará e Distrito Federal apresentam uma cobertura amostral significativamente menor, evidenciando a necessidade de ampliar a coleta e compartilhamento de dados de solo nos demais estados que compõem o bioma.

A utilização do repositório SoilData mostrou uma ferramenta útil, forneceu dados geoespaciais relevantes para a análise, mas a lacuna na disponibilidade de dados precisa ser superada para permitir uma análise mais robusta e representativa. Em suma, este estudo contribui para o avanço do entendimento sobre o estoque de COS do Cerrado e ressalta a necessidade de fortalecer a integração de dados e promover a ciência aberta, para que seja possível alcançar uma gestão mais eficaz e sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Instituto Serrapilheira, Fundação Agrisus e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. A autora principal agradece em especial à Itaipu Parquetec pela bolsa de iniciação à extensão. Além disso, somos gratos a Aline Mari Huf e Marcos Vinicius Souza Cardoso pelas valiosas contribuições para este trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ANJOS, M. A. DOS. **Repositório de dados do solo brasileiro: concepção e implementação**. 2022. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1RdrI-g8A6TNTq2EObsXGLwBG-4lhqE8j/view?ts=65098453>.

BENEDETTI, M. M. *et al*. Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2591–2600, dez. 2008.

FRANÇOSO, R. D. *et al*. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza & Conservação**, v. 13, n. 1, p. 35–40, jan. 2015.

LAL, R. (2013). Soil carbon management and climate change. **Carbon Management**, 4(4), 439–462. https://doi.org/10.4155/cmt.13.31

SANO, E. E. *et al*. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818–828, fev. 2019.

SILVA, E. B. D. **A dinâmica socioespacial e as mudanças na cobertura e uso da terra no bioma cerrado**. 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DINÂMICA DOS ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NO BIOMA AMAZÔNIA: IMPACTOS DO USO DA TERRA E DA TEXTURA DO SOLO

Guilherme Attila Ribeiro Sárkány[1*], David Oliveira Pontes [2], Delara Maryamo Ibraimo Cassamo[3], Alessandro Samuel-Rosa[4], Taciara Zborowski Horst[5]

[1] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *guilhermeattila@alunos.utfpr.edu.br. [2] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [3] Estudante de pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [4] Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [5] Professora, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

Este trabalho analisou a dinâmica dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) no Bioma Amazônia, considerando o uso da terra e a classe textural do solo. Foram utilizados dados do MapBiomas, processados no Google Earth Engine. As estimativas anuais foram integradas em um único banco de dados utilizando Python e visualizados no software R. Os resultados indicaram que solos argilosos tendem a apresentar maiores capacidade de armazenamento de carbono em comparação com solos arenosos. A conversão de florestas para áreas agrícolas e pastagens resultou em uma redução nos estoques de COS, porém a pastagem teve um aumento considerável em seus estoques. Práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas e plantio direto, podem melhorar a estrutura do solo permitindo o aumento da estocagem de carbono, e na estabilidade dos estoques de carbono no bioma.

PALAVRAS-CHAVE: manejo sustentável; bioma Amazônia; classe textural do solo, uso da terra.

INTRODUÇÃO

A Amazônia é o maior bioma florestal tropical do mundo, cobrindo 5,5 milhões de km², abrangendo nove países na américa do sul. Além de desempenhar um papel importante na dinâmica do carbono, pois suas florestas tropicais armazenam cerca de 100 bilhões de toneladas de carbono em biomassa (KODALI *et al*., 2018). Com quantidades significativas de carbono orgânico do solo (COS), o projeto MapBiomas Solo desenvolveu uma série de mapas anuais entre os anos de 1985 e 2023 que detalham o estoque de COS nos primeiros 30 cm do solo brasileiro, e resolução espacial de 30 metros.

O desmatamento e a conversão das florestas para áreas agrícolas reduzem significativamente os estoques de COS, estas conversões em grande escala podem resultar em perda de até 94% da biomassa e redução do carbono em uma década (SANQUETTA *et al*., 2020). Além disso, a prática agrícola convencional e o pastoreio intensivo degradam o solo e comprometem sua capacidade de armazenar carbono a longo prazo (FERREIRA *et al*., 2016). No entanto, existem práticas de manejo sustentável, como a adubação verde, sistemas de plantio direto e sistemas agroflorestais, que auxiliam na recuperação dos estoques de carbono (LIMA *et al*., 2019).

A pedologia permite compreender a influência das propriedades físicas e químicas do solo no sequestro de carbono (NIKKEL; LIMA, 2019). Solos argilosos têm maior capacidade de estocar COS devido à sua estrutura e características químicas, enquanto solos arenosos são menos eficientes no armazenamento de COS , sendo mais vulneráveis erosão e à perda de nutrientes por lixiviação (DE OLIVEIRA *et al*., 2017).

A textura do solo, que é determinada pela proporção de areia, silte e argila, é um dos principais fatores da sua capacidade de armazenamento de carbono. Solos com maior porção de argila tendem a armazenar mais umidade e nutrientes, facilitando o desenvolvimento de vegetação (NIKKEL; LIMA, 2019). O presente trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica dos estoques de carbono orgânico do solo no Bioma Amazônia, considerando diferentes recortes territoriais como uso e cobertura da terra e classe textural do solo, a fim de compreender sua influência na variação dos estoques de COS.

MATERIAL E MÉTODOS

A análise da dinâmica dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) no Bioma Amazônia foi realizada a partir de dados da iniciativa MapBiomas. Os mapas de uso e cobertura da terra foram obtidos da Coleção 9 do MapBiomas (MAPBIOMAS, 2025), enquanto o estoque de COS, referentes os primeiros 30 cm do solo, foram extraídas da Coleção 2 Beta do MapBiomas Solo (MAPBIOMAS, 2025), obtidas por meio de mapeamento digital de solos, com resolução espacial de 30 metros como representado na (Figura 1). Para complementar a análise, foram incorporados dados de classe textural do solo obtidos da coleção de textura do solo do MapBiomas Solo, permitindo o cruzamento dessas informações. Os dados de textura do solo foram baseados no mapa de grupamento textural, que classifica os solos em 5 categorias, conforme definido pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS *et al*., 2018) Muito Argilosa (>60% de argila), Argilosa (35-60% de argila), Média (15-35% de argila e 15-55% de areia), Siltosa (>80% de silte) e Arenosa (>80% de areia).

O processamento dos dados foi realizado no Google Earth Engine (GEE), onde os mapas foram integrados e recortados para a área do Bioma Amazônia. Devido ao grande volume de dados (1985-2023), foram selecionados os anos de 1985 e 2023 para análise. As estimativas foram exportadas em CSV e combinadas em um banco de dados único utilizando Python. Após, os dados foram organizados e processados no R Studio para cálculo de estatísticas, incluindo estoque de COS e massa de COS.

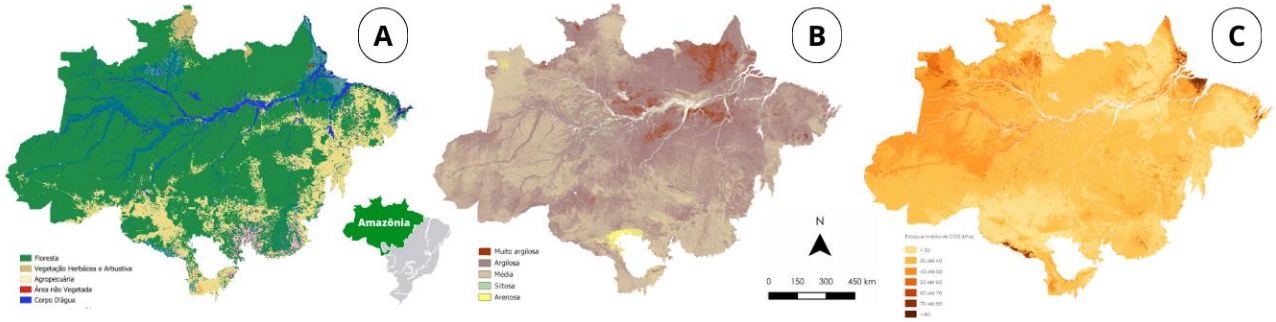


Figura 1. Mapas Temáticos da Amazônia: (A) Mapa de Uso e cobertura da terra MapBiomas Coleção 9, (B) Mapa de textura do solo MapBiomas solo Coleção 2; (C) Mapa de estoques de carbono orgânico do solo (COS) MapBiomas solo Coleção 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do uso e cobertura no Bioma Amazônico entre o período de 1985-2023 mostra que a cobertura florestal teve uma redução de 380 Milhões de hectares (Mha) (1985) para 327 Mha (2023), cerca de 53 Mha foram reduzidos, porém pastagem teve uma expansão de 12,7 Mha para 59 Mha, da mesma maneira a agricultura teve um crescimento de 0,15 Mha para 7,3 Mha. A vegetação herbácea e arbustiva teve uma redução de 1,8 Mha, já as áreas não vegetadas e corpos hídricos tiveram poucas variações.

Ao analisar a influência da classe textural nos estoques e na massa de COS, observou-se uma variação entre os anos de 1985 e 2023, tanto na massa total de COS quanto na média por hectare, nas classes texturais arenosa, argilosa, conforme apresentado na (Tabela 1). Em 1985, os solos argilosos apresentaram a maior massa total de carbono, com 9,7 Gt C, e um estoque de 44 t/ha. Já os solos médios apresentaram uma representatividade no bioma com 7,4 de Gt C Já a classe siltosa obteve o maior valor de estoque de COS, com 49 t/ha, porém apresentou a menor massa de COS, de 0,2 Gt C. Já os solos arenosos apresentaram os piores valores, com um estoque de 41 t/ha e uma massa de 0,5 Gt C, indicando baixo armazenamento de carbono. Em 2023, observou-se pouca alteração nos solos, com os solos argilosos e médios mantendo sua

predominância no armazenamento de carbono, enquanto os solos arenosos permaneceram com valores baixos.

Tabela 1. Estoque Total por Classe Textural no Bioma Amazônia (1985-2023) até 30 cm.

Atributo do solo	Massa de COS (Gt C) 1985	Massa de COS (Gt C) 2023	Estoque de COS (t/ha) 1985	Estoque de COS (t/ha) 2023
Arenosa	0,5	0,5	41	41
Argilosa	9,7	9,7	44	44
Muito Argilosa	0,5	0,5	42	42
Média	7,4	7,4	45	45
Siltosa	0,2	0,2	49	49

A umidade elevada, juntamente com as características de ligações químicas e físicas, faz com que os solos argilosos promovam um aumento da agregação do solo que é fundamental para a estabilização do carbono do solo. Porém os solos arenosos têm menor capacidade de armazenar água, resultando em menores estoques de COS (QUEIROZ *et al*., 2011).

Em relação ao COS com o uso da terra, observa-se uma variação entre 1985 e 2023. Em 1985 a Formação Florestal apresentou a maior massa de COS, com 16,8 Gt C, e um estoque de 44 t/ha. O Campo Alagado e a Área Pantanosa somaram cerca 0,6 Gt C com o maior estoque de COS 60 t/ha, já os valores apontados pela agropecuária foram: Pastagem com 0,5 Gt C e a Agricultura, com 0,00694 Gt C.

Em 2023, houve mudanças, a massa de COS nas áreas de Pastagem teve um aumento significativo, passando para 2,4 Gt C. Porém a Formação Florestal apresentou uma redução para 14,7 Gt C, com um estoque de 45 t/ha. O Campo Alagado e Área Pantanosa apresentaram um aumento no estoque de COS com 63 t/ha, e a Agricultura aumentou significativa em sua massa de COS para 0,3 Gt C

A conversão de florestas para usos agrícolas acelera a erosão e degradação do solo, impactando negativamente o ciclo global do carbono e comprometendo a sustentabilidade ambiental. A mudança na cobertura do solo altera os atributos físicos e químicos, dificultando a produção de biomassa e a estabilização do COS (DORNELES *et al*., 2019). Porém práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas e plantio direto, podem aumentar os estoques de COS e melhorar a estrutura do solo. Além disso, a conversão de áreas florestais para pastagens reduz inicialmente a massa de COS, mas pode se estabilizar com o tempo (ARAÚJO *et al*., 2011).

CONCLUSÕES

A dinâmica dos estoques de COS no Bioma Amazônia é influenciada pelo uso da terra e pela textura do solo. Solos argilosos armazenaram 9,7 Gt C em 1985 e mantiveram este valor em 2023 enquanto a conversão de florestas reduziu o estoque de 16,8 Gt C para 14,7 Gt C. Já a pastagem aumentou de 0,5 Gt C para 2,4 Gt C no período. A conversão para áreas agrícolas e pastagens reduz os estoques, mas práticas sustentáveis podem ajudar na recuperação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Fundação Agrisus, Instituto Serrapilheira e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. Agradecemos também ao Marcos Vinicius Souza Cardoso, à Ana Caroline Pretto e à Aline Mari Huf, que contribuíram para a elaboração deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, E. A. D. *et al*. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 103–114, mar. 2011.

DE OLIVEIRA, D. G. *et al*. Correlação espacial de atributos físicos do solo e produtividade de tomate industrial. **REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE**, v. 12, n. 1, p. 1, 23 dez. 2017.

DORNELES, J. I. *et al*. Avaliação de diferentes cenários na produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica amazônica. 2019.

FERREIRA, E. DE M. *et al*. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. **Revista Monografias Ambientais**, p. 228–246, 27 fev. 2016.

KODALI, A. *et al*. Understanding Climate-Vegetation Interactions in Global Rainforests Through a GP-Tree Analysis. Em: AUGER, A. *et al*. (Eds.). **Parallel Problem Solving from Nature – PPSN XV**. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2018. v. 11101p. 525–536.

LIMA, R. C. *et al*. Equações para estimativa de volume, biomassa e carbono para três espécies nativas da Amazônia, cupiúba (Goupiaglabra Aubl), angelim vermelho (Diniziaexcelsa Ducke) e mandioqueira escamosa (Qualeaparaenis Ducke). **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, v. 2, n. 2, p. 74–82, 16 dez. 2019.

MAPBIOMAS. **Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil de 1985 a 2023 - MapBiomas Brasil Coleção 9**. MapBiomas Data, 17 jan. 2025. Disponível em: <https://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomas/4ZM3KX>. Acesso em: 9 mar. 2025

NIKKEL, M.; LIMA, S. DE O. ANÁLISE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM ÁREA IRRIGADA NO CENTRO-NORTE DO BRASIL. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 27, n. 4, p. 338–346, 25 jul. 2019.

MAPBIOMAS. **Destaques do mapeamento da textura e do estoque anual de carbono orgânico do solo (COS) no Brasil (0-30cm) - MapBiomas Solo Coleção 2**. MapBiomas Data, , 17 jan. 2025. Disponível em: <https://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomas/LVGKT2>. Acesso em: 9 mar. 2025

QUEIROZ, G. M. P. *et al*. Transporte de glifosato pelo escoamento superficial e por lixiviação em um solo agrícola. **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 190–195, 2011.

SANQUETTA, C. R. *et al*. ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM PASTAGENS CULTIVADAS NO NORTE DE RONDÔNIA. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 102–107, 2020.

SANTOS, H. G. DOS *et al*. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. [s.l.] Embrapa, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INTERAÇÃO RODADO-SOLO EM UNIDADE FIXA DE ENSAIO DE PNEUS PARA TRANSBORDO

Rhaiany Vitoria Oliveira Alemida[1], Eduardo Affonso Jung[2], Eduardo Gracietti[2], Gabriel Zimmermann[2], Samir Paulo Jasper[3]
*rhaianyolveira@gmail.com

RESUMO

O intenso tráfego de máquinas agrícolas no cultivo da cana-de-açúcar contribui para compactação do solo, afetando sua produtividade e sustentabilidade. Para reduzir esses efeitos, os sistemas de transbordo melhoraram com o acréscimo de eixos e pneus com tecnologias construtivas avançadas. Contextualizando a interação entre o pneu e o solo é crucial para otimizar o desempenho das máquinas e minimizar danos ao solo. Este estudo analisou pneus radiais e diagonais em um sistema fixo de ensaio para avaliar sua influência na distribuição de carga e compactação em diferentes profundidades. Utilizando uma unidade hidráulica de prensa de pneus e um sistema de monitoramento de pressão solo-rodado. Os resultados indicam que pneus radiais distribuem uniformemente a carga, enquanto os diagonais geram pressões mais elevados e rígidas na superfície do solo. Conclui-se que o tipo de pneu é importante para reduzir a compactação, melhorar a eficiência e minimizar os impactos negativos da mecanização agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo; mecanização agrícola; distribuição de carga; interação solo rodado.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço da agricultura, impulsionado pela crescente demanda por alimentos e biocombustíveis, trouxe sérios desafios à sustentabilidade do manejo do solo. A compactação, causada pelo uso intensivo de máquinas agrícolas pesadas, destaca-se entre os principais problemas (Zhang *et al*., 2024). A mecanização elevou a produtividade e a lucratividade (Shaheb *et al*., 2021), mas a maior massa e potência das máquinas, essenciais para operações como o cultivo da cana-de-açúcar, também aumentaram a suscetibilidade dos solos à compactação (Keller & Or, 2022; Keller *et al*., 2019).

A compactação reduz o volume do solo, aumentando sua densidade e dificultando o desenvolvimento radicular. Conforme Keller & Blatz (2010), seu objetivo é elevar a resistência à deformação e melhorar a estabilidade. Contudo, esse processo reduz a infiltração e o armazenamento de água, desequilibra a dinâmica de nutrientes, temperatura e microrganismos, e eleva a resistência à penetração — diretamente relacionada à densidade e coesão do solo (Giorgio, 2003).

Além disso, ocorre o adensamento, caracterizado pela expulsão da água entre partículas sob carga, diminuindo o volume do solo. Segundo Holtz & Kovacs (1981), trata-se de um fenômeno lento, típico de solos saturados. Esses efeitos impactam negativamente a produtividade e aumentam os custos energéticos, já que o preparo do solo é uma das operações mais onerosas, especialmente na cultura da cana-de-açúcar. Solos compactados também ampliam a resistência ao rolamento, elevando o consumo de combustível (Rivero *et al*., 2022).

Nesse contexto, os pneus agrícolas têm papel crucial na mitigação da compactação. Características como área de contato e distribuição de carga influenciam diretamente a pressão sobre o solo. Pneus radiais, por possuírem reforço na banda de rodagem e laterais mais flexíveis, distribuem melhor a carga, reduzindo a compactação, enquanto pneus diagonais tendem a concentrá-la (Nagaoka *et al*., 2024; Ptak *et al*., 2023).

A modelagem da distribuição de tensões entre pneu e solo é complexa, devido à heterogeneidade do solo (Popa *et al*., 2021). Estudos recentes utilizam sensores de fluoreto de polivinilideno (PVDF) para medir

o estresse dinâmico na interface pneu-solo (Douglas, 1997a, 1997b). Outras tecnologias, como ultrassom (Dwyer-Joyce & Drinkwater, 2003) e processamento de imagem (Manyo *et al*., 2021), também têm sido testadas, embora com limitações quanto à precisão (Guan *et al*., 2023). Guan *et al*. (2022) desenvolveram um sensor para medir a tensão triaxial na área de contato, obtendo resultados preliminares promissores.

Diante disso, este trabalho busca analisar e comparar o desempenho de pneus radiais e diagonais durante o transbordo de cana-de-açúcar, avaliando sua influência na compactação do solo, na distribuição de carga e no estresse físico. Por meio de experimentos controlados, pretende-se aprofundar o conhecimento sobre as interações entre pneus e solo, gerando dados relevantes para decisões técnicas e ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Cangüiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizada em Curitiba, Brasil. Para a realização dos testes, foi utilizada a infraestrutura do Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas (LATA), que integra o Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA).

Foi projetada uma prensa hidráulica para simular a aplicação de carga sobre pneus, gerando áreas de contato entre o pneu, uma superfície rígida e o solo. A estrutura da prensa foi elaborada para suportar altas cargas e garantir estabilidade nas simulações. Ela é composta por componentes principais, como uma célula de carga, cilindro hidráulico, bomba hidráulica, sistema de aquisição de dados (SAD) e rodado.

O sistema hidráulico aplica a carga no pneu, simulando condições reais de pressão e força. O cilindro hidráulico de dupla ação permite movimentos de compressão e retorno, sendo alimentado por uma bomba da Rexroth-Bosch, com controle de rotação e pressão ajustado por um inversor de frequência. O SAD, gerenciado por um microcontrolador Arduino, recebe dados da célula de carga e de sensores de distância para monitorar o deslocamento do pneu durante a prensagem, garantindo precisão nas medições.

A caixa de solo foi projetada para simular o contato entre o pneu e o solo, permitindo leituras precisas das deformações e recalques do pneu. Para analisar a compactação, foram utilizadas células de carga dispostas a 10 cm e 20 cm de profundidade, conectadas a módulos de amplificação e conversão de sinais. Além disso, foi desenvolvido um scanner de leitura de recalque, com estrutura de alumínio e sensor laser, para medir o perfil da caixa de solo, integrando-se ao SAD com deslocamento autônomo.

No experimento, foram testados pneus radiais e diagonais da Pirelli, submetidos a uma carga de 64,7 kN e pressão de 414 kPa, representando condições típicas de transbordo de cana-de-açúcar. Para medir a área de contato dos pneus, utilizou-se corante líquido transferido para uma lâmina de papel, permitindo o cálculo da área impressa.

A textura do solo foi determinada por meio de amostras analisadas com o Densímetro de Bouyoucos, enquanto a resistência à penetração foi avaliada com um penetrômetro manual. A umidade e densidade do solo foram obtidas a partir de amostras indeformadas. O programa Arduino® foi utilizado para registrar o recalque do pneu, com ajustes de dados realizados por regressões lineares e não lineares, seguidos de análise de variância (Teste F) para verificar a significância dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da pressão aplicada no solo pelos pneus radial e diagonal revelou diferenças significativas, especialmente na distribuição das tensões nas profundidades de 10 cm e 20 cm. O pneu diagonal, sob carga de 64,7 kN e pressão de inflação de 414 kPa, apresentou pressão central de 222 kPa a 10 cm (Figura 1) e 150

kPa a 20 cm (Figura 1 - B). Em comparação, o pneu radial, sob as mesmas condições, registrou pressões de 173 (Figura 1 – A) kPa e 102 kPa (Figura 1 – B), respectivamente.

Os resultados indicam que o pneu diagonal concentra mais pressão no centro da área de contato, comportamento já descrito por Sohne (1958), que observou o aumento das tensões abaixo da região central de carga. Por outro lado, os pneus radiais distribuem melhor as tensões laterais, devido à sua estrutura diferenciada, conforme apontado por Keller *et al*. (2005).

Na análise das pressões laterais a 20 cm de profundidade, o pneu radial apresentou valores mais elevados (73 kPa e 57 kPa) do que o pneu diagonal (36 kPa e 59 kPa). No entanto, essa diferença foi influenciada pelo deslocamento das células de carga, causado pela força aplicada pelo pneu diagonal, o que pode ter levado a leituras subestimadas.

A B

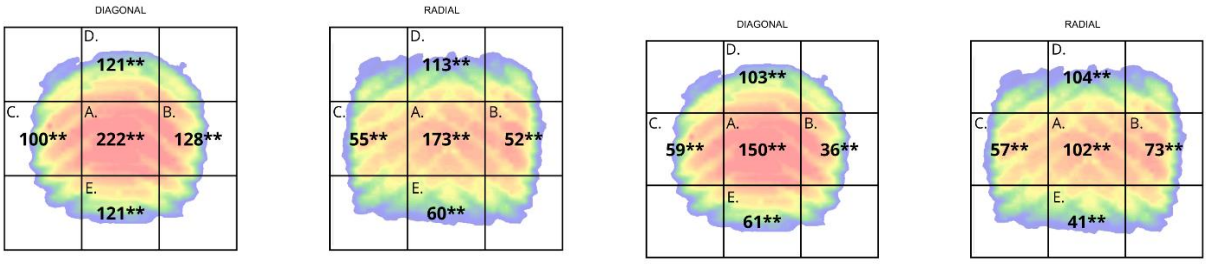


Figura 1. Distribuição de carga na caixa de solo sob um pneu radial e um pneu diagonal, A na camada de 10 cm e B na camada de 20 cm.

Quando comparados com dados da literatura, os valores obtidos para o pneu diagonal foram inferiores aos encontrados por Rodriguez *et al*. (2024), cujas pressões chegaram a 375 kPa a 10 cm de profundidade sob condições semelhantes. Essa discrepância pode estar relacionada à maior área de contato observada neste estudo (0,29 m² contra 0,23 m²), o que resultou em menor concentração de tensões.

Esteban *et al*. (2024) relataram pressões de 175 kPa a 20 cm de profundidade para um pneu diagonal sob carga de 49 kN e área de contato de 0,318 m². Esses valores se aproximam dos encontrados neste trabalho, que registrou 150 kPa sob uma carga superior de 64,7 kN. A análise das tensões ao longo do perfil do solo mostrou que, para o pneu radial, as pressões laterais foram mais evidentes a 20 cm de profundidade, enquanto no pneu diagonal as tensões permaneceram concentradas no centro — comportamento consistente com os resultados de Mohsenimanesh *et al*. (2007).

Em termos de magnitude, os valores de pressão do pneu diagonal foram superiores aos do pneu radial (222 kPa contra 173 kPa a 10 cm, e 150 kPa contra 102 kPa a 20 cm). Esses dados reforçam a tendência dos pneus diagonais de concentrar a carga e aumentar as tensões superficiais, com menor dissipação em profundidade (Way & Kishimoto, 2004).

A Figura 2 apresenta a comparação entre a carga aplicada e a pressão mensurada pela célula de carga. Inicialmente, constatou-se a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, observou-se um comportamento não linear das pressões no interior do solo em ambas as profundidades analisadas, com altos coeficientes de determinação, indicando forte correlação entre a carga aplicada e a pressão exercida.

No gráfico referente à profundidade de 10 cm, o pneu radial demonstrou uma distribuição de carga mais eficiente desde o início da aplicação, promovendo melhor dispersão da pressão sobre a superfície do

solo. Na profundidade de 20 cm, essa diferença se intensificou a partir de 15 kN, momento em que o pneu radial passou a registrar menores pressões, sugerindo uma dissipação mais eficaz das tensões em camadas mais profundas.

A figura da célula de carga ilustra a comparação do efeito da carga aplicada nas profundidades de 10 cm e 20 cm para ambos os pneus, evidenciando que a dispersão da carga ao longo do perfil do solo torna-se mais visível com o aumento da profundidade.

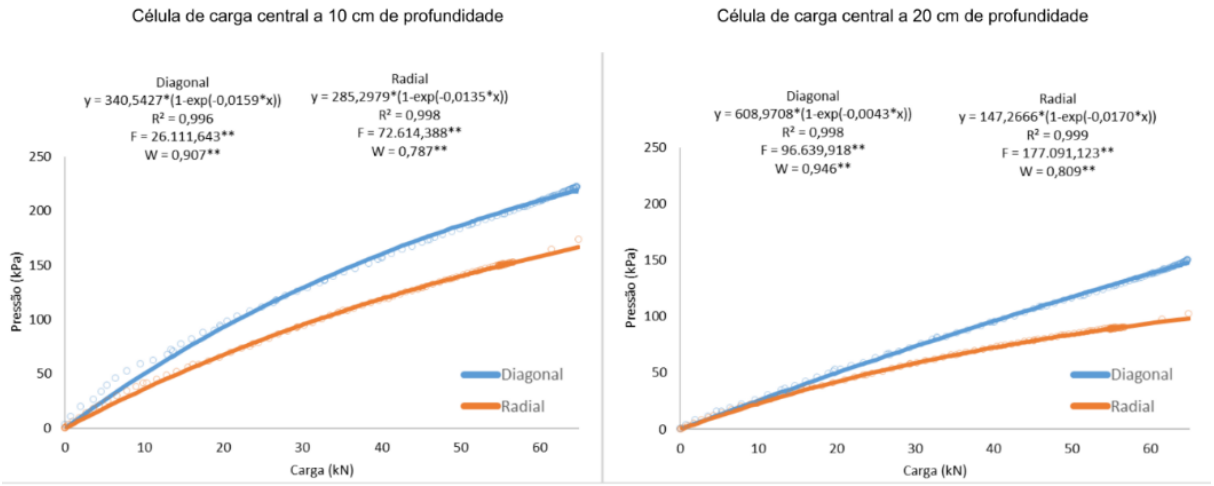


Figura 2. Relação entre carga aplicada e pressão na célula de carga central para os pneus diagonal e radial nas profundidades de 10 cm e 20 cm.

CONCLUSÕES

A comparação entre pneus radiais e diagonais revelou diferenças significativas na interação com o solo. Os pneus radiais apresentaram distribuição mais uniforme das tensões, favorecendo a estabilidade e reduzindo a compactação em camadas profundas. Em contraste, os pneus diagonais concentraram pressões no centro, intensificando os efeitos na superfície. A posição do cubo do aro também influenciou na dispersão das forças, especialmente nos pneus diagonais. Os resultados destacam a superioridade dos pneus radiais na eficiência da dissipação de tensões e na previsibilidade do desempenho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Araucária – FAPPR, aos meus colegas do LATA (Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas), e especialmente ao meu orientador Prof. Dr. Samir pelo apoio e colaboração essenciais para a realização deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS (ASABE). ASABE S313.3: Soil cone penetrometer. St. Joseph, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS (ASABE). ASABE S313.3: Soil cone penetrometer. St. Joseph, 2012.

CHELI, F., BRAGHIN, F., BRUSAROSCO, M., MANCOSU, F., & SABBIONI, E. (2011). Design and testing of an innovative measurement device for tyre–road contact forces. Mechanical Systems and Signal Processing, 25(6), 1956–1972. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2011.02.021

DE BEER, M., & FISHER, C. (2013). Stress-In-Motion (SIM) system for capturing tri-axial tyre–road interaction in the contact patch. Measurement, 46(7), 2155–2173. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.03.012

DE BEER, M., KANNEMEYER, L., & FISHER, C. (1999, agosto). Towards improved mechanistic design of thin asphalt layer surfacings based on actual tyre/pavement contact stress-in-motion (SIM) data in South Africa. *In*: Proceedings.

DOUGLAS, R. A. (1997). Unbound roads trafficked by heavily loaded tyres with low inflation pressure. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, 123(3), 163–173. https://doi.org/10.1680/itran.1997.29648

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PESQUISA *ON-FARM* COM SEMEADORAS DE PRECISÃO DA DÉCADA DE 1980, 2000 E 2020 COM SISTEMA SULCADOR DISCO DUPLO PARA IMPLANTAR CULTURA DA SOJA EM LATOSSOLO BRUNO

Yuri Gabriel Zevericoski[1*], Leandro Rampim[2*], Vicente Felipe Cordeiro dos Santos[3], Alexandre Leite[4], Simone Cristina Loures[4]

[1]Estudante do curso de Agronomia UNICENTRO. [2]Professor do PPG-Agronomia da UNICENTRO.[3]Estudante do curso Tecnologia em Big Data UNICENTRO. [4]Professor do Centro Estadual de Educação Profissional Arlindo Ribeiro. E-mail: yurizevericoski@gmail.com

RESUMO

A distribuição de sementes e fertilizantes é influenciada pelo bom uso e regulagem da semeadora utilizada, bem como pelo nível tecnológico do maquinário. O estudo avaliou o desenvolvimento das plantas em plantio direto de soja, semeadas por semeadoras fabricadas nas décadas de 1980, 2000 e 2020, em uma área de 17 hectares de Latossolo Bruno, no Centro Estadual de Educação Profissional Arlindo Ribeiro. As análises realizadas nas plantas foram de altura, plantas por metro, entre outras. As plantas analisadas foram escolhidas ao acaso dentro do delineamento de cada tratamento. O manejo químico e de fertilidade foi o mesmo para todas as parcelas. A semeadora mais moderna (Stara Cinderela) obteve os melhores resultados, principalmente em altura e diâmetro de plantas. Este resultado pode estar ligado ao sistema dosador de sementes a vácuo e o peso da semeadora, que favorece o melhor corte da palhada.

PALAVRAS-CHAVE: plantio direto; mecanização; haste sulcadora; compactação.

INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica das semeadoras ao longo das décadas tem sido um dos pilares para o aumento da eficiência operacional e agronômica da semeadura. Desde de 1980, quando ocorreu a popularização das primeiras semeadoras de precisão, até atualmente com os modelos mais modernos, houve avanços significativos em automação, precisão e tecnologia facilitando a semeadura.

A avaliação de desempenho de máquinas agrícolas, como semeadoras, é importante devido à necessidade dos agricultores em obter maquinários que sejam economicamente viáveis e que tragam o retorno esperado em termos de produtividade (De Moura Bernardes *et al*., 2023*)*.

A comparação entre semeadoras de diferentes décadas de fabricação permite uma análise comparativa de como a evolução da tecnologia pode aumentar a produtividade em uma mesma área. Esta comparação não apenas evidencia o desenvolvimento tecnológico, mas possibilita um melhor entendimento sobre como essas inovações impactam a eficiência operacional e o desempenho agronômico

Como a pesquisa foi conduzida em condições *on-farm* é possível uma avaliação realista da evolução tecnológica em um ambiente de produção agrícola, levando em conta contratempos comuns na semeadura e como equipamentos mais modernos podem ajudar a evitá-los. Portanto, este estudo não contribui somente com a área de mecanização agrícola, mas também oferece subsídios práticos para a tomada de decisão na hora da compra de novas semeadoras.

Desta forma, o estudo teve como objetivo realizar pesquisa *on-farm* com semeadoras de precisão da década de 1980, 2000 e 2020 com sistema sulcador disco duplo para implantar cultura da soja em Latossolo Bruno, analisando aspectos como precisão na distribuição de sementes e desenvolvimento das plantas em cada tratamento.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em área experimental do Centro Estadual de Educação Profissional Arlindo Ribeiro (CEEPAR; Figura 1b), localizada no município de Guarapuava no estado do Paraná, nas coordenadas

geográficas 25°21’ 48” S, 51°30’05” W e altitude de 1.045 m, em solo classificado como Latossolo Bruno Distroférrico, sendo a textura do solo classificada como muito argilosa. (EMBRAPA, 2006).

Para a realização do estudo foi utilizado áreas de cultivo do CEEPAR, as quais têm sido manejadas diferentemente ao longo dos anos, algumas em sistema de plantio direto e outras em sistema de integração lavoura pecuária.

O estudo foi realizado em área de cultivo de 17,0 ha, cultivado em sistema plantio direto. Na área foi cultivado aveia no inverno de 2024. Foi realizada a pesquisa com dinâmica de campo *on-farm* com semeadoras de diferentes décadas de fabricação.

A pesquisa foi realizada em delineamento inteiramente casualizado *on-farm*, com os seguintes tratamentos: semeadora de precisão da década de 1980, adaptada com sistema horizontal para dosar semente e adaptada para dosador por transbordamento para fertilizante; semeadora de precisão da década de 2000; semeadora da década de 2020 com dosador vertical a vácuo e com tecnologias de agricultura de precisão (Figura 1a).

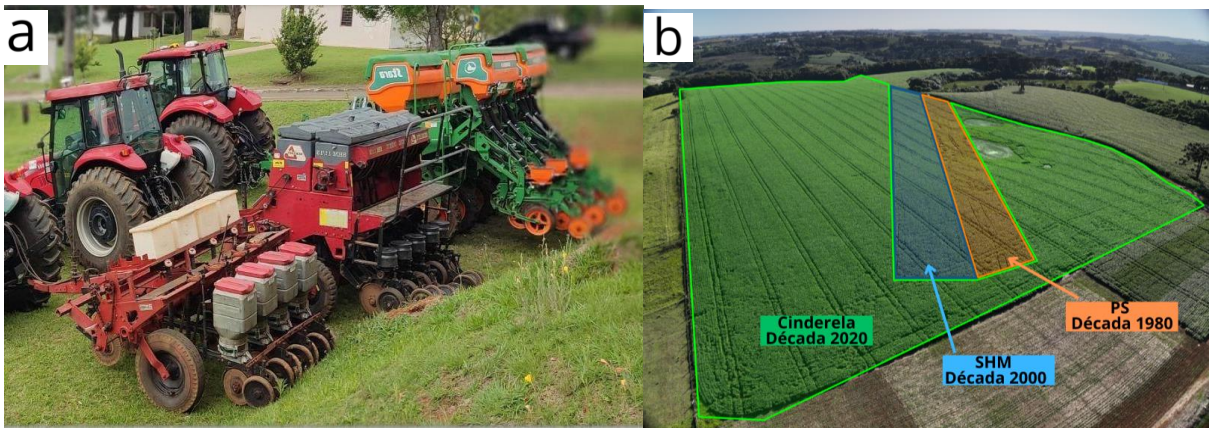


Figura 1. Semeadoras utilizadas: da esquerda para a direita, Semeato PS6 (1980), Semeato SHM (2000) e Stara Cinderela (2020) (a), delimitação da área de semeadura (b). Fonte: Autor, 2024.

A implantação da cultura da soja aconteceu em outubro de 2024 com semeadoras das décadas de 1980, 2000 e 2020, conforme especificações (Tabela 1).

Durante o ciclo da cultura, foi avaliada a altura de planta, diâmetro de caule, número de ramos produtivos, número de nós, número de vagens, inserção de primeira vagem e número plantas por metro.

Em relação ao estudo estatístico das avaliações realizadas na pesquisa serão direcionadas para análise de variância para testar os tratamentos de semeadoras de soja, pelo teste F ($p \leq 0,05$) e em caso de efeito significativo será realizado o teste de comparação de médias Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do programa Sisvar (Ferreira, 2011).

Tabela 1. Especificações do conjunto trator-semeadora utilizado na pesquisa de implantação da soja

Tratamentos	**T1**	**T2**	**T3**
Descrição	Conjunto Semeadora Stara (2020) Cinderella 9/8 linhas soja 0,50 m - Trator Case 110	Conjunto Semeadora Semeato Múltipla SHM (2000) 13l/5 linhas soja 0,45 m - Trator Case 80	Conjunto Semeadora Semeato PS6 (1980) adaptada 4 linhas 0,45 m - Trator Case 90
Especificações	Vácuo, Taxa Variada Semente/Adubo, Desligamento linha a linha, Adubo dosador Fertisystem por transbordamento	Mecânica, horizontal, dosador tradicional, adubo rosca sem fim	Mecânica, horizontal, dosador TitaniumJ.assy, Adubo dosador Fertisystem por transbordamento
Piloto Automático	Elétrico -Trimble RTX	Elétrico - Jacto	Hidráulico
Área (ha)	15,0	1,1	0,9

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através de análises realizadas com as plantas em estádio R5 (tabela 2) demonstram que a semeadora Stara Cinderela obteve um melhor resultado médio para as análises de altura de plantas e número de nós (Tabela 2).

Tabela 2. Avaliações realizadas em plantas de soja semeadas por semeadoras fabricadas nas décadas de 2020, 2000 e 1980

AVALIAÇÃO	**SEMEADORA**		
	Cinderela Década 2020	**SHM Década 2000**	**PS Década 1980**
Diâmetro caule (mm)	2,54 a	2,49 a	2,11 a
Inserção da primeira vagem	10,34 a	10,89 a	11,83 a
Número galhos	2,97 a	3,06 a	2,86 a
Número nós	16,34 a	13,51 b	14,14 b
Altura de plantas (cm)	100,37 a	91,86 b	86,00 b
Número plantas/metro	9,66 a	9,40 a	9,07 a

Os resultados obtidos mostram que não houve diferença significativa na maioria dos parâmetros avaliados, com exceção do número de nós e da altura das plantas. De acordo com Moleta e colaboradores (2020), a utilização de semeadoras com diferentes mecanismos de distribuição não apresentaram variação significativa em relação à plantabilidade.

A altura das plantas foi maior na semeadora mais moderna em aproximadamente 9 cm, devido à melhor deposição das sementes em profundidade no sulco de semeadura (Moleta *et al.*, 2020),

possibilitando um melhor desenvolvimento inicial das plantas de soja. A altura das plantas apresenta relação positiva com a produtividade até aproximadamente 1,14 metros, afetando-a negativamente após esse limiar (Vann *et al*., 2021). O número de nós também foi maior na semeadora de 2020, sendo que este parâmetro, juntamente com o comprimento de entrenós, condiciona a altura das plantas (Martins *et al*., 1999).

CONCLUSÕES

A evolução das semeadoras ao longo das décadas influencia diretamente o estabelecimento e desenvolvimento das plantas.

Pode-se observar por meio dos resultados em que a Cinderela (2020) maior altura de plantas e numero de nós.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Mecanização e Agricultura de Precisão (NMAP), Laboratório de Solos e ao Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) pela realização dos trabalhos de pesquisa. À Fundação Araucária e Senar pelo financiamento do projeto NAPI-PROSOLO, ao CNPq pelo financiamento do projeto Universal processo 408380/2023-3, ao CNPq pela Bolsa de Produtividade.

BIBLIOGRAFIA

DE MOURA BERNARDES, Stephanye *et al*. Avaliação de desempenho de semeadora-adubadora: Seeder-fertilizer performance evaluation. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 6, n. 1, p. 587-599, 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

MARTINS, Mônica Cagnin *et al*. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. Scientia agrícola, v. 56, p. 851-858, 1999.

MOLETA, Igor *et al*. Desempenho de semeadora-adubadora pneumática e mecânica em diferentes velocidades na soja. Research, Society and Development, v. 9, n. 10, p. e4629107947-e4629107947, 2020.

VANN, Rachel A. *et al*. Production practices that maximize soybean yield: What we have learned from the North Carolina soybean yield contest. Agronomy Journal, v. 113, n. 4, p. 3399-3417, 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PLANTABILIDADE E PRODUTIVIDADE DA CULTURA SOJA SUBMETIDO A DIFERENTES ALTURAS DE MANEJO DA CULTURA DA AVEIA

Cauã André Conzatti[1*], Moacir Zornita Junior[2], Maurício Hendrikus Salomons[2], Leandro Rampim[3], Cristiano Andre Pott[3]

[1]Estudante de mestrado da UNICENTRO, [2]Eng. Agrônomo, [3]Professor da UNICENTRO. *Email: cauaconzatti93@gmail.com

RESUMO

As alturas de corte visam manejar as plantas de cobertura ou aproveitar a biomassa para alimentação animal, já que o excesso de palhada pode afetar o estabelecimento das culturas subsequentes. O objetivo deste estudo foi avaliar a plantabilidade e a produtividade da soja em Latossolo Bruno, submetida a diferentes alturas de corte da aveia, em um experimento conduzido por dois anos. Foram testados cinco manejos de corte da aveia: sem corte (100%), 75%, 50%, 25% e corte total (0%). Observou-se que conforme aumenta remoções de biomassa, maior o nível de solo exposto, mas a não remoção pode prejudicar a plantabilidade da soja. No primeiro ano, o tratamento sem corte (100%) apresentou máximo rendimento, enquanto corte total (0%) foi o menos eficiente. Para a massa de mil grãos, os cortes de 50% e 75% tiveram resultados superiores. No segundo ano, não houve impacto significativo das alturas de corte em ambas avaliações.

PALAVRAS-CHAVE: planta de cobertura; solo descoberto; manejo de cobertura; *Avena sativa*.

INTRODUÇÃO

Como forma de cobertura de solo, a aveia é uma das principais culturas utilizadas (Favarato *et al*., 2016), graças a sua versatilidade, de uso na alimentação animal, pode também ajudar a descompactar o solo e melhorar sua qualidade física, química e biológica (Freitas *et al*., 2022). Segundo Alves *et al*. (2024), a presença de cobertura vegetal protege o solo contra a erosão causada pelo impacto das gotas de chuva, reduzindo a perda de solo e mantendo sua qualidade física, sem falar em redução da perda de água por evaporação. Tanto a aveia branca, quanto a aveia preta, se mostram como boa alternativa na utilização na adubação verde, devido as suas características nutricionais, realizando boa ciclagem de nutrientes, além de ter alta capacidade de geração de biomassa (Melo e Paese, 2024). Na região sul do Brasil, a cultura é amplamente utilizada devido ao seu potencial de adaptabilidade de solos e a variações climáticas (Santos, 2022).

Entretanto, a alta deposição de resíduos de aveia pode dificultar a adoção adequada do SPD, uma vez que as semeadoras adubadoras enfrentam problemas de funcionamento nessa situação, visto que a presença de palha úmida ou ainda verde pode comprometer o corte realizado pelo disco da semeadora, resultando na má distribuição longitudinal das sementes, com irregularidade de semeadura por causa de espaçamentos falhos e duplos, o que por sua vez afeta o estande de plantas e prejudica a emergência das plântulas (Santi *et al*., 2021). Desta forma, opta-se, por um manejo especial para fracionar, reposicionar e/ou colocar o material vegetal em contato com a superfície do solo.

Uma das formas de estar quantificando o conteúdo de cobertura vegetal presente sobre o solo, é por meio de índices de vegetação. Conforme afirma Godoy (2022), a vegetação capta luz nas faixas vermelha e azul do espectro visível, refletindo na faixa verde e intensamente no infravermelho próximo. Segundo o mesmo, é possível analisar e medir essas variações, e sua interdependência pode oferecer dados relevantes sobre o índice de vegetação, saúde das plantas, estresse ambiental e outros aspectos relevantes.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi determinar a plantabilidade e produtividade da cultura soja submetido a diferentes alturas de manejo da cultura da aveia em Latossolo Bruno.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área experimental da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), campus Cedeteg, em Guarapuava, Paraná. O solo é classificado como Latossolo Bruno Distroférrico, com textura muito argilosa. O experimento foi conduzido por duas safras consecutiva de aveia (*Avena sativa*) e soja (*Glycine max*) (2022/2023 e 2023/2024).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (diferentes alturas de manejo da aveia: sem corte, 75%, 50%, 25%, corte total) e quatro repetições, totalizando 20 parcelas de 27 m² cada. A semeadura da aveia foi realizada em julho de 2022 e 2023, com densidade populacional de 70 kg ha^{-1}. O manejo mecânico da aveia, corte com roçadora, ocorreu 100 dias após a semeadura. Em outubro de 2022 e 2023, foi feita a semeadura da soja com densidade de 12 plantas por metro linear. A adubação foi de 250 kg ha^{-1} de NPK 04-20-20.

As avaliações realizadas no experimento incluíram a coleta da massa de matéria seca da aveia. A plantabilidade da soja foi avaliada pela contagem de plantas. O índice de vegetação obtido por meio de imagens aéreas capturadas com drone. A produtividade da soja e pesagem das amostras para cálculo da massa de mil grãos. Também foi avaliado a resistência à penetração do solo com um penetrômetro digital, e a umidade do solo, medida na camada superficial de 0-10 cm. Para a análise dos dados, foi realizado a análise de variância (ANAVA) e comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos cortes sobre a cultura da aveia, foi possível determinar os níveis de solo exposto (Figura 1). A parcela sem cortes (0%) foi a mais eficaz na proteção do solo, cobrindo mais da metade da superfície. Pequenas remoções de biomassa afetaram pouco o nível de solo exposto, enquanto cortes mais severos, neste caso de 75% e 100%, tiveram áreas com maior exposição, favorecendo a erosão.

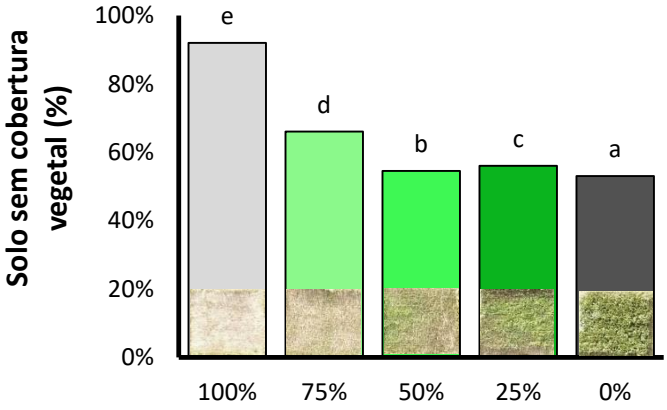


Figura 11. Porcentagem dos níveis de solo exposto sem cobertura da cultura da aveia após o corte de diferentes alturas a cultura da aveia. NMAP (UNICETRO), Guarapuava, PR, 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (0,05%).

Para a avaliação de plantabilidade, em ambos os anos de experimento, observou-se que, à medida que eleva a concentração da cobertura de aveia, isto é, elevando a altura de corte até ausência de corte (100%), menores eram, respectivamente, os valores para espaçamentos aceitáveis na distribuição de semente. Isso pode ser justificado pela irregularidade da palhada e sua alta concentração durante a operação de semeadura, abertura dos sulcos e deposição de sementes e adubo (Trogello, 2014).

No primeiro ano de experimento o tratamento sem corte (100% da altura) foi o que apresentou a maior produtividade, enquanto o tratamento do corte total (0 % da altura) obteve resultado inferior dentre os tratamentos, enquanto para massa de mil grãos os cortes de 50% e 75% obtiveram a maior massa. No segundo ano a produtividade e a massa de mil grãos, não surtiram interferência da altura de corte. Foi notável que nas áreas com maior concentração de biomassa de aveia (100% de cobertura - sem corte e 75% de cobertura), as produtividades apresentaram incremento de até 11% em comparação às áreas onde houve corte total.

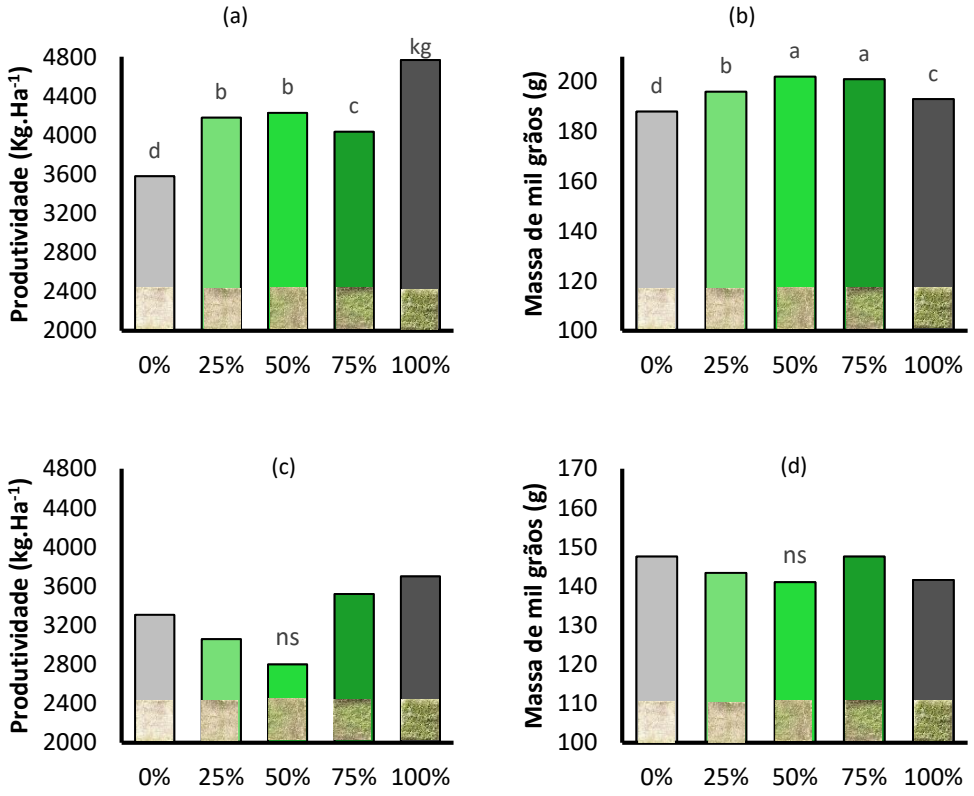


Figura 2. (A, C) Produtividade e (B, D) massa de mil grãos da soja em 2022/2023 e 2023/2024, cultivada sobre cinco alturas de corte da cultura da aveia. NMAP (UNICENTRO), Guarapuava, PR, 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$); ns: não significativo.

A resistência à penetração não atingiu valores críticos de 2000 kPa (Andrade *et al*., 2013) para o desenvolvimento radicular. O corte total (0%) apresentou valores mais elevados até 20 cm de profundidade, enquanto os cortes de 75% e 50% mostraram menor compactação ao longo do perfil. Esse padrão se repetiu em ambos os anos, destacando os cortes medianos como os mais favoráveis.

CONCLUSÕES

Quanto maior a remoção da planta de cobertura, maior tende a ser o nível de solo exposto.

A remoção da massa de aveia aprimora a plantabilidade, mas não proporciona aumento na massa de mil grãos e produtividade de grãos da cultura da soja.

Deve-se priorizar manejos que disponibilizem maiores quantidades de biomassa no solo, desde que não acarretem problemas para a plantabilidade da cultura da soja.

Não foi constatado valores críticos de resistência do solo a compactação, entretanto em perfil, se mostrou promissor a remoção parcial de 75% e 50% da parte aérea da aveia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos do Núcleo de Mecanização e Agricultura de Precisão (NMAP), Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas e Laboratório de Física, Manejo e Conservação do solo da UNICENTRO no auxílio na execução das atividades. Fica o agradecimento ao CNPq, à Fundação Araucária, à CAPES e ao SENAR-PR pelo apoio financeiro. Agradecemos à Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), pela estrutura e oportunidades oferecidas, permitindo a execução da pesquisa e a conclusão deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, C.; CAMPOS, T. S.; SILVA, D. V. Práticas edáficas, vegetativas e mecânicas para controle de erosão. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 1, 2024.

FREITAS, K. S.; SILVA, P. U.; TREVISAN, V. P.; FRONZA, R. T. L.; BORTOLIN, J. O.; STRECK, E. A. Vigor e tratamento de sementes no desempenho agronômico da aveia preta. **ScientiaTec**, v. 9, n. 2, 2022.

GODOY, F. O. **Índices de vegetação na avaliação agronômica da aveia preta (Avena strigosa Screb) irrigada com efluente tratado de abatedouro**. 2022. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2022.

MELO, G. W. B.; PAESE, B. T. **Como escolher plantas de cobertura para coabitar em vinhedos**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2024. 7 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 232).

SANTI, A. L.; BARON, F. A.; GERLACH, L. F. R.; FORNARI, E. Z.; MANFIO, E. S.; GUTHEIL, A. L. M. Qualidade de semeadura da soja em áreas do planalto médio do Rio Grande do Sul. **Tecno-Lógica**, v. 26, n. 1, p. 105-108, 2022.

SANTOS, L. C. **Características agronômicas e nutricionais da forragem e feno da aveia preta Embrapa 139 pós cultivo de crotalaria ou milho**. 2022. 81 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2022.

REDIN, M.; GIACOMINI, S. J.; FERREIRA, P. A. A.; ECKHARDT, D. P. Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. *In:* TIECHER, T. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, 2015. p. 7-22.

TROGELLO, E. **Épocas e formas de manejo da aveia-preta na semeadura e produtividade do milho**. 2014. 49 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

TRABALHOS APRESENTADOS NA SESSÃO DE PÔSTERES II

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVALIAÇÃO RISCO ECOLÓGICO GLIFOSATO E AMPA EM ÁGUA SUPERFICIAL, SEDIMENTOS E BIOFILMES EPILÍTICOS NA BACIA HIDROGRÁFICAS DO RIO ERVEIRA NO MUNICÍPIO DE DOIS VIZINHOS, PARANÁ

Gustavo Ferreira Coelho[1*], André Pellegrini[2], Gracieli Fernandes[3], Jéssica Fernandes Kasefer[4], Danilo Rheinheimer dos Santos[5]

[1] Professor e Pesquisador, Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Campus Avançado de Jandaia do Sul. [2] Professor e Pesquisador, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus de Dois Vizinhos. [3,5] Professor(a) e Pesquisador(a), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). [4] Pesquisadora de Pós-doutorado (CNPq). *gustavocoelho@ufpr.br.

RESUMO

O estudo avaliou o risco ecológico do glifosato e seu metabólito AMPA em sedimentos e biofilmes epilíticos na bacia do Rio Erveira, Paraná, Brasil, visando compreender os impactos da contaminação agrícola em ecossistemas aquáticos. Foram coletadas amostras de sedimentos, biofilmes e água superficial em 10 pontos ao longo de quatro períodos (2022-2023). A quantificação dos compostos foi realizada por UPLC-MS, e o risco ecológico foi estimado pelo quociente de risco (RQ). Os resultados indicaram que os riscos foram baixos a negligenciáveis na água, mas elevados nos sedimentos (∑RQ até 9,6795) e biofilmes (∑RQ até 22,69), especialmente em períodos secos. A sazonalidade e uso agrícola influenciaram os níveis de contaminação, destacando a necessidade de monitoramento contínuo e práticas sustentáveis para mitigar impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: agrotóxicos; biofilme epilítico; contaminação; monitoramento ambiental; sedimentos.

INTRODUÇÃO

A intensificação agrícola aumentou o uso de herbicidas, como o glifosato, amplamente aplicado e de alta mobilidade ambiental. Seu metabólito, AMPA, atinge corpos hídricos por escoamento e lixiviação, acumulando-se em sedimentos e biofilmes epilíticos, impactando a biodiversidade e processos ecológicos (Brovini *et al*., 2023). Avaliar sua presença e risco ecológico é essencial para entender os efeitos sobre organismos aquáticos e o equilíbrio dos ecossistemas.

Os biofilmes epilíticos, ricos em polissacarídeos e proteínas, modulam a qualidade da água, mas também acumulam poluentes agrícolas (Pérez *et al*., 2021). O glifosato e AMPA podem alterar sua dinâmica microbiana e afetar cadeias tróficas. Já os sedimentos funcionam como reservatórios, aumentando a biodisponibilidade e o potencial tóxico para organismos sedimentares (San Juan *et al*., 2023).

Este estudo avalia o risco ecológico do glifosato e AMPA em sedimentos e biofilmes epilíticos de bacias agrícolas no Paraná, Brasil. A hipótese central é que o uso agrícola influencia suas concentrações, variando entre locais, tempo de coleta e matrizes amostradas. A quantificação desses compostos e a aplicação de métodos de risco contribuirão para entender os impactos da contaminação em ecossistemas aquáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no Câmpus Dois Vizinhos, Paraná, Brasil, a uma altitude de 510 metros. A pesquisa abrangeu a bacia hidrográfica do Rio Erveira, onde foram definidos 10 pontos de amostragem, entre as coordenadas 53°6’1” W e 25°41’55” S: quatro na sub-bacia de 1ª ordem do Rio da Trilha, quatro na bacia de 2ª ordem do Rio Erveira e dois após a confluência desses rios (Figura 1).

A coleta de amostras incluiu sedimentos, biofilmes epilíticos e água superficial. Para capturar sedimentos, foram instalados torpedos em duplicata em cada ponto de amostragem. O material coletado foi transportado em galões de 5 L, sedimentado por 15 dias, seco a 45 °C e peneirado em malha de 2 mm. Os biofilmes epilíticos foram cultivados em gaiolas de aço galvanizado contendo rochas basálticas submersas

desde julho de 2022. A coleta desses biofilmes ocorreu por escovação manual com água deionizada, seguida de armazenamento a –80 °C, liofilização a –40 °C e homogeneização. Já a água foi coletada em frascos plásticos de 500 mL, mantidos em caixas térmicas com gelo e transportados para análise laboratorial.

As coletas foram realizadas em quatro momentos: dezembro de 2022, junho, setembro e dezembro de 2023. A quantificação de glifosato e AMPA nas amostras foi conduzida por cromatografia líquida de ultra-alta eficiência (UPLC), acoplada a um espectrômetro de massa quadrupolar.

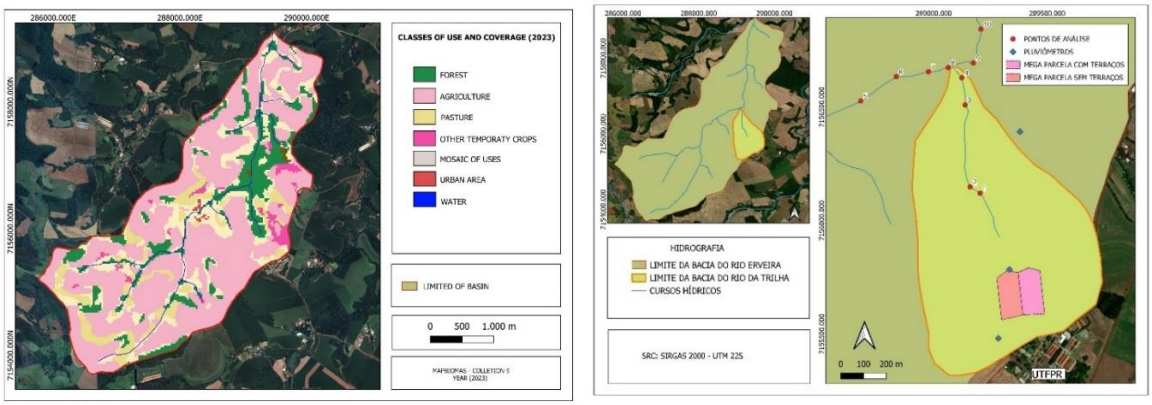


Figura 1. Mapa de Localização da bacia hidrográfica de 2ª ordem do Rio Erveira; e da sub-bacia de 1ª ordem do rio da Trilha com os pontos de coleta georreferenciados.

A avaliação de risco foi realizada de acordo com o método proposto na literatura (Eq. 1) (Pérez *et al*., 2021). Conforme os autores, para evitar uma superestimação, foram utilizadas as concentrações de glifosato correspondente a 95% das concentrações ambientais máximas permitidas em água doce superficial.

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC} \qquad (1) \qquad PNEC = \frac{CC}{AF} \qquad (2)$$

Onde: RQ: quociente de risco ambiental; MEC: concentração ambiental mensurada; PNEC: a concentração sem efeito prevista; CC: concentração crítica ou concentração sem efeito observado (NOEC) obtida do banco de dados da ECOTOX da EPA dos EUA (22 de outubro de 2024); AF: fator de avaliação de 10 (Pérez *et al*., 2021). Para o metabólito AMPA foi considerado os mesmos valores que para glifosato.

Em águas superficiais, os CCs foram definidos como NOECs para algas, baseados em valores de concentração efetiva 50 (EC_{50}) de testes de inibição de crescimento de 96 horas em *Pseudokirchneriella subcapitata,* sendo 2,00 mg L^{-1} para Glifosato e 0,20 mg L^{-1} para AMPA. Para sedimentos e biofilmes epilíticos, utilizou como NOECs os valores de concentração considerados como risco agudo para invertebrados de 40 mg L^{-1} para Glifosato e 690 mg L^{-1} para AMPA.

Para avaliação de risco nas matrizes sedimentos e biofilmes epilíticos, foi realizado a conversão da concentração de glifosato e AMPA destas matrizes para a concentração deles na água intersticial, utilizando a Eq. 3, conforme Pérez *et al*. (2021):

$$C_{pw} = \frac{C_s}{K_d} \qquad (3)$$

Onde: C_{pw} é a concentração de glifosato e AMPA na água intersticial, C_s é a concentração de glifosato e AMPA determinada nos sedimentos e biofilmes epilíticos e K_d é o coeficiente de sorção linear. Os valores de K_d foram calculados usando a Eq. 4 e 5 (Pérez *et al*. 2021).

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc} \quad (4) \qquad \log K_{oc} = a \times \log K_{ow} + b \quad (5)$$

Onde: K_{oc} é o coeficiente de partição carbono orgânico-água para o glifosato e AMPA. A f_{oc} é a fração de carbono orgânico total obtido a partir de uma mistura das amostras de sedimentos e biofilmes epilíticos. O

K_{ow} é o coeficiente de partição octanol-água. Os valores das constantes *a* e *b* foram definidos como 0,72 e 0,49 de acordo com Pérez *et al*. (2021).

A soma do RQ_{site} ($\sum RQ_{site}$) foi calculada para cada matriz amostrada (água superficial, sedimentos e biofilmes epilíticos), em cada bacia hidrográfica e em cada coleta estudada, de acordo com a Eq. 6:

$$\sum RQ_{site} = \sum_{i=1}^{n} RQ_i \qquad (6)$$

Onde: RQ_i é o quociente de risco para i (glifosato ou AMPA). Neste caso, RQ assume um efeito somatório de concentração, sendo a toxicidade da mistura baseada na adição dos efeitos de cada pesticida isoladamente (Sánchez-Bayo *et al*., 2002; Pérez *et al*., 2021). O risco ecológico foi classificado em quatro níveis com base nos valores de $\sum RQ_{site}$: I) risco negligenciável: $\sum RQ_{site} < 0{,}01$; II) risco ecológico baixo: $0{,}01 < \sum RQ_{site} < 0{,}1$; III) risco ecológico médio esperado: $0{,}1 < \sum RQ_{site} < 1{,}0$; e IV) risco ecológico alto $\sum RQ_{site} > 1{,}0$ (Pérez *et al*., 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados apresentados na Tabela 2, observa-se que os riscos ecológicos são baixos a negligenciáveis para a água superficial em todas as amostragens, enquanto os sedimentos e biofilmes epilíticos apresentaram maiores níveis de contaminação. Isso ocorre, pois, esses compartimentos possuem maior capacidade de retenção de poluentes.

Tabela 2. Quociente de Risco Ecológico (RQ) em água superficial, sedimentos e biofilmes epilíticos em diferentes épocas de amostragem (dezembro de 2022; junho de 2023; setembro de 2023 e dezembro de 2023) na Bacia do Rio Erveira (Dois Vizinhos, Paraná, Brasil).

Pontos		I.A.	RQs para água superficial (AS)				∑ RQs AS	RQs para sedimentos (S)				∑ RQs S	RQs para biofilmes epilíticos (BE)				∑ RQs BE
			dez/22	jun/23	set/23	dez/23		dez/22	jun/23	set/23	dez/23		dez/22	jun/23	set/23	dez/23	
Sub-bacia Rio da Trilha (sBRT)	1	GLY	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0114	0,0114	0,0389	0,0578	0,1196	0,2027	0,0831	0,1571	0,1277	0,5707
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0100	0,0000	0,0100	0,0024	0,0006	0,0002	0,0019	0,0051	0,0012	0,0007	0,0009	0,0011	0,0039
	2	GLY	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1189	0,0833	0,1168	0,3252	0,6442
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0021	0,0005	0,0007	0,0000	0,0032	0,0007	0,0005	0,0005	0,0015	0,0031
	3	GLY	0,0005	0,0055	0,0000	0,0000	0,0060	0,0000	0,0114	0,0092	0,0160	0,0366	0,1074	0,0592	0,1323	0,3123	0,6113
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0010	0,0005	0,0009	0,0038	0,0008	0,0004	0,0007	0,0014	0,0034
	4	GLY	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1808	0,0229	0,0000	0,0000	0,2037	0,0836	0,0709	0,1418	0,0931	0,3894
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0045	0,0009	0,0004	0,0000	0,0058	0,0005	0,0006	0,0010	0,0009	0,0030
∑ RQs da sBRT		GLY	0,0005	0,0060	0,0000	0,0000	0,0065	0,1922	0,0458	0,0481	0,0738	0,3598	0,5127	0,2966	0,5480	0,8584	2,2156
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0100	0,0000	0,0100	0,0103	0,0030	0,0018	0,0028	0,0180	0,0032	0,0021	0,0031	0,0049	0,0133
Bacia Rio Erveira (BRE)	5	GLY	0,0045	0,0000	0,0000	0,0000	0,0045	0,3741	0,6825	0,2540	0,2620	1,5727	1,0984	0,7254	0,7438	0,5468	3,1144
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0098	0,0158	0,0054	0,0044	0,0354	0,0051	0,0051	0,0054	0,0050	0,0205
	6	GLY	0,0030	0,0005	0,0000	0,0000	0,0035	0,0801	0,1030	0,1768	0,0303	0,3902	0,8192	0,6547	0,6347	0,0000	2,1086
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0051	0,0055	0,0040	0,0014	0,0160	0,0050	0,0049	0,0048	0,0000	0,0147
	7	GLY	0,0000	0,0000	0,0000	n.d.	0,0000	0,3987	0,5126	0,0973	n.d.	1,0086	0,6686	0,6437	0,5893	n.d.	1,9016
		AMPA	0,0050	0,0000	0,0000	n.d.	0,0050	0,0112	0,0126	0,0026	n.d.	0,0265	0,0032	0,0039	0,0033	n.d.	0,0103
	8	GLY	0,0000	0,0000	0,0000	n.d.	0,0000	0,4302	0,7534	0,2014	n.d.	1,3850	0,6989	0,6082	0,6275	n.d.	1,9346
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0000	n.d.	0,0000	0,0102	0,0126	0,0049	n.d.	0,0278	0,0033	0,0038	0,0044	n.d.	0,0115
∑ RQs da BRE		GLY	0,0075	0,0005	0,0000	0,0000	0,0080	1,2832	2,0515	0,7294	0,2923	4,3564	3,2851	2,6320	2,5953	0,5468	9,0592
		AMPA	0,0050	0,0000	0,0000	0,0000	0,0050	0,0364	0,0465	0,0169	0,0058	0,1055	0,0166	0,0177	0,0178	0,0050	0,0571
sBRT + BRE	9	GLY	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005	0,3650	0,2277	0,0149	0,0355	0,6430	0,6299	0,7734	0,4107	0,4219	2,2359
		AMPA	0,0000	0,0050	0,0000	0,0000	0,0050	0,0118	0,0050	0,0019	0,0015	0,0201	0,0032	0,0053	0,0037	0,0036	0,0158
	10	GLU	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2838	0,6728	0,1493	0,0217	1,1276	0,7132	0,6168	0,5731	0,1557	2,0587
		AMPA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0065	0,0138	0,0043	0,0013	0,0258	0,0034	0,0036	0,0044	0,0019	0,0132
∑ RQs sBRT+ BRE		GLY	0,0080	0,0065	0,0000	0,0000	0,0145	1,4754	2,0973	0,7775	0,3661	4,7162	3,7978	2,9286	3,1433	1,4052	11,2748
		AMPA	0,0050	0,0000	0,0100	0,0000	0,0150	0,0467	0,0496	0,0187	0,0085	0,1235	0,0197	0,0198	0,0209	0,0099	0,0704
∑ RQs GLY			0,0160	0,0130	0,0000	0,0000	0,0290	2,9508	4,1945	1,5549	0,7323	9,4325	7,5955	5,8572	6,2865	2,8104	22,5497
∑ RQs AMPA			0,0100	0,0000	0,0200	0,0000	0,0300	0,0935	0,0992	0,0373	0,0171	0,2470	0,0395	0,0397	0,0418	0,0198	0,1407
∑ RQs GLY + AMPA			0,0260	0,0130	0,0200	0,0000	0,0590	3,0443	4,2937	1,5923	0,7493	9,6795	7,6350	5,8969	6,3283	2,8302	22,6904

I.A.: Ingrediente ativo; risco ecológico ($\sum RQ_{site}$): risco negligenciável: $\sum RQ_{site} < 0{,}01$ (verde); risco ecológico baixo: $0{,}01 < \sum RQ_{site} < 0{,}1$ (amarelo); risco ecológico médio esperado: $0{,}1 < \sum RQ_{site} < 1{,}0$ (laranja); risco ecológico alto $\sum RQ_{site} > 1{,}0$ (vermelho).

No caso dos sedimentos, a soma dos RQs para glifosato e AMPA nas estações da BRE e na sBRT em algumas amostragens ultrapassou 4,0 (∑ RQs sBRT + BRE = 4,7162), superando alores como 9,0 para as duas bacias considerando os dois ingredientes ativos (∑ RQs GLY + AMPA = 9,6795) ou apenas o glifosato (∑ RQs GLY = 9,4325) indicando alto risco ecológico. Esse resultado é preocupante, pois demonstra que o RQ para glifosato é maior que para o seu metabólito AMPA, além da persistência deles no ambiente aquático, podendo impactar organismos bentônicos e alterar a cadeia trófica.

Os biofilmes epilíticos também apresentaram serem bons indicadores de Risco Ecológico (RQ) para glifosato e AMPA, sendo maiores para dezembro de 2022 > setembro de 2023 > junho de 2023 > dezembro de 2023, sendo o menor ∑RQ para este último período em função da alta, quando o ∑RQ GLY + AMPA total atingiu 22,69, evidenciando forte contaminação.

A sazonalidade influenciou os níveis de risco, com picos nos meses secos (junho e setembro de 2023), sugerindo que a menor vazão dos rios pode aumentar a concentração de poluentes. Além disso, a BRE apresentou maior risco em relação à sBRT, possivelmente devido a diferenças no uso do solo e intensidade da atividade agrícola.

A caracterização em porcentagem de material inorgânico (MI), material orgânico (MO) e teores de C e N em sedimentos e biofilmes epilíticos foi obtido previamente em estudos anteriores. Os biofilmes são predominantemente formados por material inorgânico, com 80,33%, enquanto o material orgânico representa 19,67%, com 6,82 % de C e 0,88 % de N. Estes valores são superiores a aqueles encontrados para os sedimentos (82,30 % M.I.; 17,70% M.O.; 2,85 % de C e 0,25 % de N). Tais características, contribuem para o acúmulo de contaminantes e nutrientes, devido a sua estrutura complexa e à presença de sítios de sorção, e no desempenhando um papel importante na modulação da qualidade da água e na ciclagem de nutrientes e como indicadores de risco ecológico.

CONCLUSÕES

O estudo revela alto risco ecológico do glifosato e AMPA nos sedimentos e biofilmes epilíticos da bacia do Rio Erveira. A sazonalidade influenciou os níveis de risco, com picos nos meses mais secos. Os Biofilmes epilíticos são bons indicadores de contaminação, destacando a necessidade de práticas sustentáveis, regulamentação rigorosa e monitoramento contínuo para mitigar impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Chamada CNPQ/MCTI/FNDCT nº 18/2021 - UNIVERSAL

BIBLIOGRAFIA

BROVINI, E. M.; QUADRA, G. R.; PARANAÍBA, J. R.; CARVALHO, L.; PEREIRA, R. O.; AQUINO, S. F. Occurrence and environmental risk assessment of 22 pesticides in Brazilian freshwaters. **Aquatic Toxicology**, v. 260, p. 106566, 2023.

PÉREZ, D. J.; ITURBURU, F. G.; CALDERON, G.; OYESQUI, L. A. E.; DE GERÓNIMO, E.; APARICIO, V. C. Ecological risk assessment of current-use pesticides and biocides in soils, sediments and surface water of a mixed land-use basin of the Pampas region, Argentina. **Chemosphere**, v. 263, p. 128061, 2021.

SAN JUAN, M. R. F.; LAVARÍAS, S. M. L.; APARICIO, V.; LARSEN, K. E.; COLMAN LERNER, J. E.; CORTELEZZI, A. Ecological risk assessment of pesticides in sediments of Pampean streams, Argentina. **Chemosphere**, v. 313, p. 137598, 2023.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

A EFICIÊNCIA DOS TERRAÇOS NO CONTROLE DAS PERDAS DE ÁGUA E DE SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS MANEJADAS SOB PLANTIO DIRETO

Keila Padilha de Oliveira Camargo de Lima [1],
José Francirlei de Oliveira [2], Vanessa Gonçalves Aisawa [3], Ana Lúcia Londero [4] Graziela Moraes de Cesare Barbosa [5]

[1]Doutoranda- Agronomia – UEL keilapadilhal@gmail.com*; [2] Mestranda – Agronomia – UEL; [3]Analista – IDR- Paraná; [4]Pós doutoranda – IFSM; [5] Pesquisadora – IDR - Paraná

RESUMO

A erosão do solo é um dos principais desafios enfrentado pela agricultura brasileira. A ocorrência de eventos extremos de precipitação associado ao uso insuficiente de práticas conservacionistas resulta em processos erosivos severos e em perdas significativas de solo, água e nutrientes, mesmo em áreas sob sistema plantio direto. Este trabalho avalia a eficiência de terraços na redução das perdas de água e de solo em áreas manejadas sob plantio direto. Em duas encostas com (ECT) e sem terraços (EST), foram monitorados eventos de chuva-vazão ao longo do ano de 2022. Os dados foram coletados por meio de pluviômetro de báscula e de París, linígrafos e de coletas manuais. A taxa de perda de solos e de escoamento superficial foram controladas em 97% e 91% respectivamente na ECT, principalmente em períodos em que o solo se encontra mais propício a erosão tanto em eventos de grandes magnitudes quanto em pequenos eventos.
PALAVRAS-CHAVE: precipitação; erosividade; hidrossedimentológico; escoamento superficial.

INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas estão enfrentando erosões aceleradas devido a práticas de manejo inadequadas, a busca pelo lucro econômico se sobrepõe a preocupação com a sustentabilidade do solo. No Brasil a cada ano cerca de 617 milhões de toneladas de solo é perdido pelo processo de erosão (Telles *et al*., 2023). Durante um evento de precipitação, parte da água que não infiltra no solo escoa superficialmente. Esse processo dependendo da intensidade, pode causar erosão hídrica e consequentemente transporte de nutrientes e sedimentos (Ferreira *et al*., 2023). Esses resultados indicam o potencial erosivo das chuvas e destacam a necessidade de práticas de conservação do solo em áreas agrícolas vulneráveis, pois esses processos são agravados em áreas com declive acentuado, solos desprotegidos e regiões que não adotam práticas adequadas de conservação do solo (Dambros *et al*., 2024).

Considerando esses impactos, estudos que quantificam as perdas de água e de solo são importantes para a implementação de práticas que controlem o escoamento superficial principalmente em períodos mais propícios a erosão (Londero *et al*., 2021, Merten *et al*., 2015, Dambros *et al.,* 2024). Esses estudos indicam que intervenções como a implementação de terraços, mesmo em áreas sob plantio direto, são necessárias para reduzir os efeitos da erosão, servindo principalmente como uma barreira que ajuda a reduzir a energia cinética da chuva, reduzindo o escoamento superficial. O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência de terraços na redução das perdas de água e de solo em áreas manejadas sob plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados deste estudo são referentes ao ano de 2022, realizado em uma área experimental em Cambé-PR (23°09’56’’S, 51°14’30’’W), conduzida pelo IDR-Paraná. O clima é subtropical úmido (Cfa), com temperatura média de 21°C e precipitação anual de 1. 466mm, com erosividade da precipitação de 6000 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}$ ano^{-1} (Waltrick et., 2015). Os solos predominantes são classificados como Latossolo Vermelho Distroférrico no topo e Nitossolo Vermelho Distroférrico no sopé. O relevo é suave ondulado a plano, com plano e perfil de curvatura linear-convexo.

A área é conduzida sob plantio direto com sucessão de soja (*Glycine max*, *L.*) no verão e milho (*Zea mays*, *L.*) no inverno. Nessa área foram instaladas duas parcelas com 2,67 ha. As parcelas foram instaladas com a máxima semelhança topográfica possível, considerando aspectos como a declividade, direcionamento de fluxo e fluxo acumulado, dentre outros. Uma parcela possui terraços (PCT) que foram construídos em 2018, enquanto a outra não tem estruturas de contenção (PST), permitindo escoamento livre. Ambas direcionam o fluxo de água para um sistema de coleta com calha "H" e linígrafos que registram dados a cada 2 minutos. Os cálculos de vazão (Q) foram realizados por meio da equação de descarga. A concentração de de sedimentos foi determinado por meio de coletas manuais. Para esses eventos, foram utilizadas as seguintes variáveis: Precipitação (mm); Intensidade máxima (Imáx, mm h^{-1}); erosividade (IE30, MJmmha^{-1}h^{-1}mês^{-1}); vazão máxima (Qmáx, Ls^{-1}); volume de escoamento (V, L); coeficiente de escoamento superficial (C, %); concentração de sedimentos em suspensão (CSS, gL^{-1}); e a perda de solo (PS, kg). Para avaliar as diferenças significativas entre as parcelas utilizou-se o teste não paramétrico de Wilcoxon (p 0,05).

Tabela 1 – Variáveis dos eventos de 2022 nas parcelas com (PCT) e sem (PST) terraços na região de Cambé, Paraná

Eventos	Precipitação (mm)	Imáx (mmh^{-1})	IE30 (MJmm ha^{-1}h^{-1}mês^{-1})	Local	Q máx (L/s)	V (L)	C (%)	CSS (g/L)	PS (kg)
13/03	73,5	253,46	420,28	PCT	42,26	36413,05	1,9	4,372	57,77
				PST	242,08	379975,10	20,0	16,375	4510,80
24/03	31,9	57,32	82,95	PCT	30,13	19407,25	2,3	7,205	109,36
				PST	110,77	131324,40	15,9	21,170	741,90
25/03	15,9	9,20	6,91	PCT	4,37	10272,85	2,5	7,048	28,69
				PST	28,97	77462,20	18,9	3,907	204,20
31/03	10,1	12,00	4,80	PCT	1,89	1857,80	0,7	2,319	24,51
				PST	7,12	6172,21	2,4	3,907	19,40
12/04	38,4	32,33	59,76	PCT	7,34	9162,61	0,9	4,342	28,97
				PST	22,24	62052,60	6,3	4,232	192,16
21/09	12,0	36,00	6,93	PCT	3,09	5531,96	1,7	2,319	24,51
				PST	6,36	16976,23	5,4	10,757	1014,87
06/10	29,1	81,14	71,55	PCT	1,07	1740,54	0,2	1,412	0,58
				PST	1,13	1632,06	0,2	0,289	0,31
18/10	32,3	71,83	84,22	PCT	8,89	4516,04	0,5	2,397	4,95
				PST	219,87	342212,00	41,0	22,909	2567,91
20/10	26,9	46,94	37,24	PCT	0,65	916,75	0,1	0,911	0,56
				PST	9,73	9779,66	1,4	8,301	33,76
31/10	49,0	120,54	192,97	PCT	14,443	19207,62	1,5	0,943	6,72
				PST	126,5055	185410,40	14	19,784	863,43
Total	**319,1**	--	--	**PCT**	--	**109026,4 b**	--	**33,2 b**	**286,6 b**
				PST	--	**1212996,9 a**	--	**107,5 a**	**10148,4 a**

Eventos (E), Precipitação (P), intensidade máxima (I), Erosividade da precipitação (EI30), vazão de pico (Q), coeficiente de escoamento superficial (C), volume de escoamento superficial (V), concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e perda de solo (PS),

Os meses de outubro e março registraram 4 eventos cada mês com precipitações variando de 10,1mm a 73,5 mm. Os outros dois eventos foram nos meses de abril e setembro com precipitações de 38,4mm e 12,0mm respectivamente. Os eventos de chuva-vazão nesses dois meses (outubro e março) correspondem ao período entre as safras de verão e inverno na região. O manejo não contempla o uso de rotação de culturas ou mistura com diferentes plantas de cobertura no período entre as safras, o que deixa o solo com baixa cobertura e mais propenso ao processo de destacamento e arraste de partículas pela erosão. Assim, observou-se que para o ano de 2022 as maiores vazões e produção de sedimentos não ocorreram

necessariamente no período de maior volume de chuva, que ocorre no mês de janeiro com precipitação média de 223,26mm (Rocha; Santos, 2022).

Em todos os eventos monitorados, o volume de água perdido foi maior na PST em relação à PCT, o que resultou em uma diferença significativa entre as parcelas, cujo volume foi de mais de 1 milhão e duzentos mil litros de água na PST, e na PCT o volume de água perdido correspondeu a apenas 11% do volume perdido na ausência dos terraços (Tabela 1). O valor do coeficiente de escoamento na PST foi 20% e 1,9% na PCT (Tabela 1). Essa porcentagem de coeficiente de escoamento mostra a eficiência dos terraços no controle de perda de água por escoamento.

Na ausência dos terraços, a concentração de sedimentos em suspensão também foi maior, com máxima de 22 gL^{-1} comparada à máxima concentração de 8 gL^{-1} na PCT (Tabela 1), que resultou em uma perda de solo significativamente maior na PST, com mais de 10 toneladas de solo perdido no ano de 2022, quando comparado aos 286 kg de solo perdido na PCT (Tabela 1). Ressalta-se a fragilidade do manejo ao processo erosivo já que eventos com baixo volume de precipitação (10,1 mm no dia 31/03) e baixa intensidade (9,2 mm h^{-1} no dia 25/03) causaram a formação do escoamento superficial e perda de solo (Tabela 1).

Os resultados evidenciaram que as perdas de água e de sedimentos ocorrerem tanto em eventos de baixas como de altas, magnitudes. Sendo que eventos maiores consequentemente teve maiores perdas. Outro fator responsável pelas perdas, é o período que acontece a precipitação, nos meses de março e outubro que são períodos de colheita e plantio, o solo está mais suscetível a erosão. O escoamento superficial ocorreu de forma mais intensa na PST, causando maiores perdas de água e de solo. Já na PCT a taxa de perda de solos e de escoamento superficial foi mais controlado, isso mostra que os terraços são eficientes para controlar a erosão quando as práticas de manejo do solo não são suficientes. Em média os terraços reduziram em 97% a perda de solo e em 91% o escoamento superficial, demostrando sua alta eficiência no controle da erosão hídrica em áreas sob plantio direto.

Esse estudo tem mostrado o quanto o escoamento superficial é fortemente controlado pelo uso de terra e implementação de práticas mecânicas, e mostra a importância da adoção dos terraços para ajudar a desacelerar o processo de escoamento superficial e o transporte de sedimentos, principalmente durante eventos extremos de chuva. (Didoné *et al*., 2014; Merten *et al*., 2015).

CONCLUSÕES

A perda de água e solo em áreas não terraceadas é significativamente maior tanto em eventos grandes quanto em pequenos. E que em períodos de solo descoberto as erosões são mais agravantes, isso mostra a importância em implementar práticas mecânicas como os terraços para controlar o escoamento superficial principalmente em áreas agrícolas onde as práticas de manejos são insuficientes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IDR - Paraná, Itaipu Binacional, Rede de Agropesquisa do Paraná e bolsa Capes.

BIBLIOGRAFIA

DAMBROS, L., LIMA, L. D. S. C., BARROS, C. A. P. D., CASSOL, E. A. Soil loss and runoff in southern Brazil in conservation systems: a long-term experiment. **Acta Scientiarum. Agronomy**, *46*, e63164. 2021. https://doi.org/ 10.4025/actasciagron.v46i1.63164.

FERREIRA, G, F, PEREIRA, A. E.; SILVA JUNIOR, O. L.; TEIXEIRA, T. M. SCHMIDT FILHO, E. Perda de solo por escoamento superficial em argissolo do noroeste paranaense, *In:* REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 4. Dois vizinhos, 2023. Disponível em: https://www.even3.com.br/ebook/rpcs2023/615334-

QUANTIFICACAO-DA-PERDA-DE-AGUA-EM-ENCOSTAS-AGRICOLAS-MANEJADAS-SOB-PLANTIO-DIRETO-NO-OESTE-DO-PARANA. Acesso em: 08/02/2025

LONDERO, A. L., MINELLA, J. P., SCHNEIDER, F. J., DEUSCHLE, D., MERTEN, G. H., EVRARD, O., BOENI, M. Quantifying the impact of no-till on sediment yield in southern Brazil at the hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, 35(7), e14286. 2021. https://doi.org/ 10.1002/hyp.14286.

MERTEN, G. H., ARAÚJO, A. G., BISCAIA, R. C. M., BARBOSA, G. M. C., CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, 152, 85-93. 2015. https://doi.org/ 0.1016/j.still.2015.03.014

ROCHA, A. K. P; SANTOS, M. M. Distribuição pluviométrica do município de Londrina/PR: análise do comportamento, balanço hídrico, probabilidade e tempo de retorno. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 15, n. 06, p. 2810-2820, 2022. https://doi,org/ 10.26848/rbgf.v15.6.p2810-2820.

TELLES. T. S.; MELO. T. R. D.; RIGHETTO. A. J. DIDONÉ E. J. BARBOSA. G. M.D. C. Soil management practices adopted by farmers and how they perceive conservation agriculture, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 46, e0210151, https://doi,org/ 10.36783/18069657rbcs20220151.

WALTRICK, P. C. Machado, M. A. M. Dieckow, J. Oliveira, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: Atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 39, n. 1, p. 256-267, 2015. https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150147.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

BIOMARCADORES NO SOLO COM APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Luciane Lemos do Prado[1*], Kerolaine Woitchik[2], Nerilde Favaretto[3], Deborah Dick[4], Beatriz Helena Noronha Sales Maia[3]

[1*]Doutoranda, Universidade Federal do Paraná lucianeprado@ufpr.br, [2]Mestranda, Universidade Federal do Paraná, [3]Professora, Universidade Federal do Paraná, [4]Professora, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RESUMO

A aplicação de dejeto líquido bovino (DLB) no solo de áreas agrícolas pode interferir nos biomarcadores naturais e influenciar na repelência à água, estabilidade de agregados, infiltração, selamento superficial, fertilidade. O objetivo deste estudo foi avaliar a presença dos biomarcadores naturais e antrópicos presentes em solos de textura franco argilo arenosa e de textura argilosa, incubados com DLB em experimento de curto prazo. Para isso, a fração lipídica das amostras de solo com e sem aplicação de DLB foi analisada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa. Foi possível identificar grupos de compostos naturais como os terpenóides, ácidos graxos e n-alcanos, bem como os grupos de compostos de fonte antrópica como os esteroides e fitoesteróides. Após 180 dias de incubação os biomarcadores antrópicos do grupo dos esteroides não foram identificados, podendo indicar redução dos compostos hidrofóbicos a longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: hidrofobicidade; adubação orgânica; dejeto animal; n-alcanos.

INTRODUÇÃO

A aplicação do dejeto líquido bovino (DLB) no solo promove o selamento superficial principalmente pelo entupimento dos poros pela matéria seca do próprio dejeto (Cherobim *et al.*, 2019), e consequentemente reduzir a capacidade de infiltração. O intervalo de aplicação do DLB e o evento de precipitação podem minimizar os efeitos negativos sobre a infiltração de água no solo (Cherobim *et al.,* 2018). No entanto, a redução da infiltração pode ocorrer também pela hidrofobicidade do solo. Em solos agrícolas, por exemplo, os n-alcanos, ácidos graxos, ésteres de cera, triterpenoides e ésteres de ftalato fornecem indicativos sobre hidrofobicidade e estabilidade de agregados, revelando a dinâmica da matéria orgânica presente (Atanassova e Doerr, 2010).

Para a seleção de biomarcadores, é fundamental considerar sua abundância na área de estudo, facilidade de identificação, sensibilidade, entre outros (Peralta, 2022). Ainda, compostos podem sofrer transformações microbianas e físico-químicas ao longo do tempo, alterando suas estruturas (Atanassova e Doerr, 2010). O uso de biomarcadores se torna essencial para avaliar os impactos da aplicação de DLB em solos agrícolas (Walker, McGuinty, Hickman, 2021).

Apesar do vasto conhecimento acerca de biomarcadores e seus usos, ainda se faz necessário investigar como diferentes tipos de adubos orgânicos influenciam na hidrofobicidade e na dinâmica dos biomarcadores no solo. Diante desta perspectiva, o presente estudo tem como objetivo avaliar a presença dos biomarcadores naturais em solos arenosos e argilosos, em experimento de curto prazo com aplicação de DLB, e diferenciar os biomarcadores antrópicos.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado no experimento foi coletado em áreas de vegetação nativa, abrangendo os horizontes A e B, na profundidade de 0 - 0,55m (campo nativo) em Ponta Grossa-PR e na profundidade de 0 – 0,70 m (floresta nativa) em Castro-PR. No estudo de curto prazo, os solos foram incubados em laboratório. Para a incubação, 600 g de solo foram acondicionados em sacos plásticos e adicionado DLB seco a 45 °C passado em malha de 1 mm (adubação orgânica). Para a adubação orgânica, adicionou-se fósforo (P) equivalente a

100 % da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP). Os solos foram mantidos com umidade de 80% da capacidade de campo de cada solo e, em temperatura ambiente por 180 dias. Para a avaliar os biomarcadores, as amostras foram coletadas no tempo 5 e 180 dias. Maiores detalhes estão descritos em Celante (2021). As amostras foram secas em estufa a 40°C e passadas em peneira de malha de 2 mm (TFSE). A partir das amostras secas e peneiradas, os métodos analíticos foram aplicados conforme o protocolo recomendado. Para analisar e identificar os compostos hidrofóbicos do solo e do DLB, foi utilizado Cromatografia Gasosa acoplada ao espectrômetro de massa GC/MS Shimadzu.

A extração lipídica total do solo (ELT) foi feita a partir de 5 g de TSFE para as amostras de solo arenoso e 3 g para as amostras de solo argiloso sem e com aplicação de DLB. O extrato foi obtido após adicionar 8 mL da mistura diclorometano:metanol (DCM:Me) na proporção 2:1. A amostra foi homogeneizada com auxílio de vortex e na sequência sonicada por 30 min. Após centrifugação, por 5 min a 3000 rpm, o sobrenadante foi reservado. O processo de extração foi realizado por mais duas vezes. O extrato foi totalmente seco à temperatura ambiente até o momento do fracionamento (Galoski *et al.,* 2019). Após evaporação completa, a amostra foi ressuspendida em 500 µL com a mistura DCM:MeOH (2:1). Transferidos 250 µL da ELT para a coluna, em pipeta pasteur de vidro, contendo sílica ativada e sulfato de sódio no topo, que foi ativada com pequenas porções de Hx (6 a 8 mL). Para analisar os alcanos, foi utilizado hexano (Hx) (grau HPLC). Esta fração foi denominada de F1 por ser a fração de interesse nos alcanos.

Na análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), aproximadamente 0,40 mL da amostra foi ressuspendida com hexano, transferida para vial contendo insert, e analisada nas condições: coluna capilar 5 MS (5% difenil + 95% dimetilpolisiloxano (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). O gás de arraste foi o hélio com vazão de 1,02 mL min^{-1}, modo splitless, injetor à 250 ºC. A amostra foi injetada na seguinte rampa de aquecimento: temperatura inicial 40 ºC 3 min^{-1}, 8°C min^{-1} até 290°C permanecendo por 17 min. Tempo total de análise de 51 min. Os compostos foram identificados a partir do tempo de retenção de cada composto (cromatograma) e comparados com a biblioteca NIST e literatura (Adams, 2017).

Para avaliar os biomarcadores neste trabalho, foram escolhidos os 10 compostos com maiores percentuais de ocorrência, dentre a média de 36 compostos por amostra. Esta fração corresponde a mais de 60% da composição da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa da pesquisa foi avaliar a composição orgânica do DLB e na identificação e rastreamento da presença de biomarcadores nos solos com e sem aplicação de DLB (Fig. 1). Os compostos identificados no DLB são os seguintes: Esteróis (41%), Ácidos graxos (38%), Fitoesteróis (9%), n-alcanos (8%), Terpenos (2%), Éster de Ácido graxo (1%) e Fitano Diterpenóide (1%). O solo arenoso sem aplicação de DLB, incubado por 5 dias, apresentou maior concentração de compostos do grupo dos terpenóides (44%). Essa composição difere da observada para o mesmo solo, também sem aplicação de DLB, mas incubado por 180 dias, que apresentou maior percentual de ésteres de ácido graxo (31%) e n-alcanos (24%). No solo arenoso incubado por 5 dias com DLB, observou-se predominância de esteróis (40%) e fitoesteróis (17%) provenientes do DLB. Por outro lado, no solo incubado por 180 dias, o maior percentual de compostos foi de n-alcanos (60%), indicando alterações nas características do solo ao longo do tempo, tanto nas amostras com quanto nas sem aplicação de DLB.

Os biomarcadores presentes no solo estão relacionados com a fonte, que pode ser natural ou antrópica. O grupo dos terpenóides, por exemplo, é o maior grupo de compostos naturais provenientes de plantas (Christianson, 2017). Os n-alcanos no solo têm origem nos resíduos de plantas (raízes, caules e folhas). N-alcanos de cadeia longa, como os $C_{ímpar}$ (n-C_{29} – n-C_{31}), foram identificados no solo sob as culturas de trigo e milho, sugerindo que estes compostos possuem uma origem natural. Os ácidos graxos também fazem parte dos compostos de origem vegetal natural. Geralmente são identificados em cadeias de carbono

(C) de tamanho médio (n-C_{16}- n-C_{18}) ou longo (n-C_{22+}), sendo que a predominância de ácidos graxos provenientes de plantas é observada em cadeias de carbono de tamanho médio (Wiesenberg *et al.,* 2004).

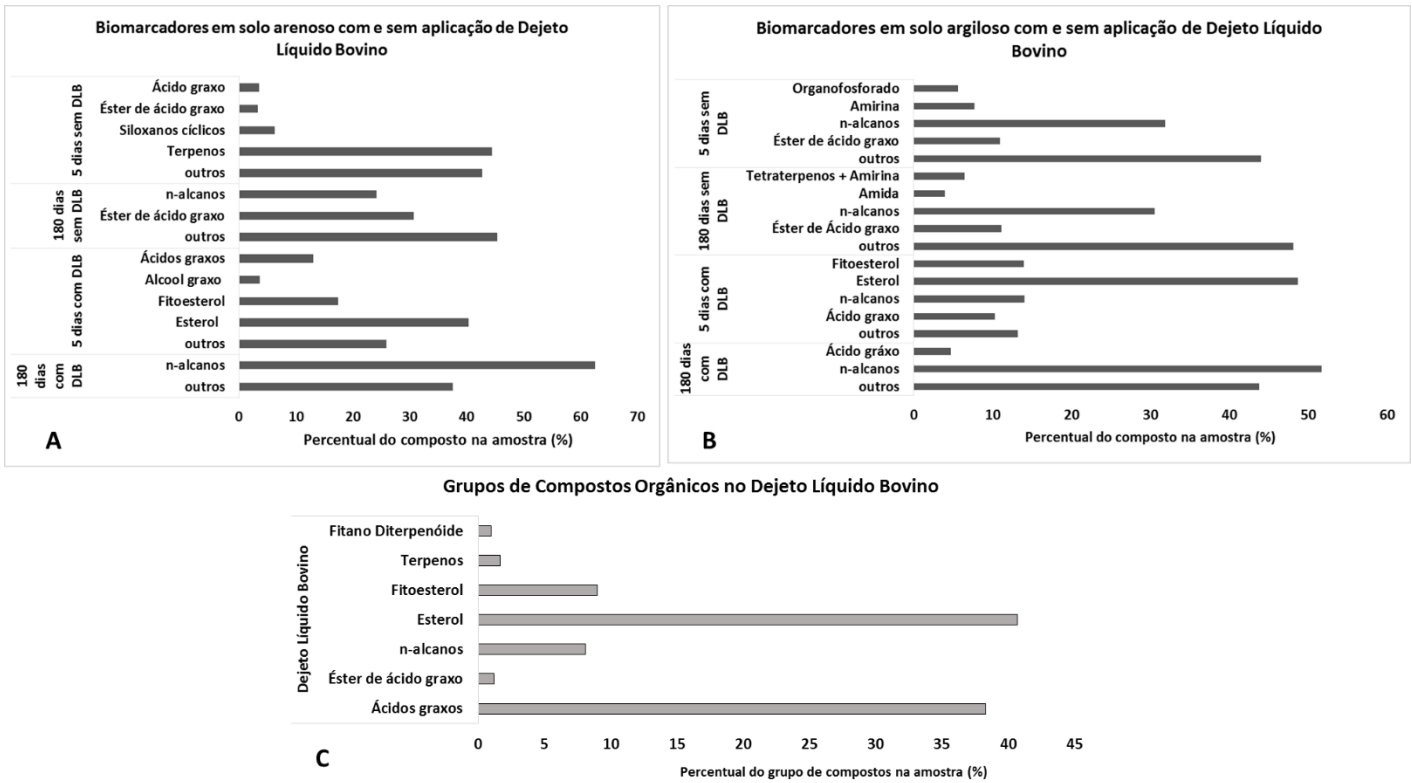


Figura 1. **A**: Biomarcadores em solo arenoso sem aplicação de DLB e com aplicação de DLB (5 dias e 180 dias); **B**: Biomarcadores em solo argiloso sem aplicação de DLB e com aplicação de DLB (5 dias e 180 dias); **C**: Biomarcadores do Dejeto Líquido Bovino.

As fontes antrópicas dos biomarcadores estão associadas aos grupos dos esteróides e fitoesteróides. Simpson *et al* (1999), observaram a presença desses grupos, além de ácidos graxos, no dejeto bovino. Os autores compararam os resultados com os dejetos suínos para avaliar a persistência destes compostos no solo. Nos dois tipos de solos avaliados, observou-se que esses grupos estavam presentes nas amostras com 5 dias de incubação, com percentuais de aproximadamente 57% (solo arenoso) e 63% (solo argiloso). Contudo, após 180 dias de incubação, esses grupos de compostos não foram identificados.

Para avaliar a taxa de decomposição dos compostos presentes nas amostras, é necessário associar outras análises que possam proporcionar uma melhor compreensão da dinâmica destes biomarcadores. A relação carbono/nitrogênio (C/N) pode servir como um bom indicativo do processo de mineralização da matéria orgânica. A presença mais significativa de compostos no solo argiloso pode ser atribuída às interações organo-minerais, que desempenham um papel crucial na melhoria das propriedades de repelência à água do solo (Olorunfemi *et al.,* 2014).

CONCLUSÕES

A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa permite identificar os biomarcadores da fração lipídica do solo. É preciso utilizar índices indicadores das fontes antrópicas e naturais para melhor compreender a dinâmica do grupo dos compostos identificados. O experimento de curto prazo permite avaliar a dinâmica dos biomarcadores, principalmente os de fonte antrópica. O dejeto líquido bovino

contribui com compostos da fração lipídica do solo a curto prazo, entretanto, se faz necessário avaliar se ao longo do tempo eles são degradados não atuando de forma negativa com a hidrofobicidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Este estudo teve apoio da Fundação Araucária, UFPR (PROAP), Fundação ABC e CNPq.

BIBLIOGRAFIA

ADAMS, R. P. Identification of essential oil components by gas chromatography, mass spectroscopy. 4.1th ed. **Alfred Publishing Corporation**, 804 p., 2017.

ATANASSOVA, I.; DOERR, S. Organic compounds of different extractability in total solvent extracts from soils of contrasting water repellency. **European Journal of Soil Science**, v.61, p. 298-313, 2010.

CELANTE, L. S. **Fracionamento de fósforo e avaliação do risco ambiental em solos com aplicação de dejeto líquido bovino a curto e a longo prazo**. 2021. 154f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

CHEROBIM, V. F.; FAVARETTO, N. MELO, V. F.; BARTH, G. CHI-HUA, H. Soil surface sealing by liquid dairy manure affects saturated hydraulic conductivity of Brazilian Oxisols. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 193-196, 2018.

CHEROBIM, V. F.; FAVARETTO, N. MELO, V. F. RUMBELSPERGER, A. M. B.; CHI-HUA, H. Soil surface sealing by liquid dairy manure as analysed by X-ray computed tomography. **Agricultural water management**, v. 213, p. 742-748, 2019.

CHRISTIANSON, D. W. Structural and chemical biology of terpenoid cyclases. **Chemical reviews**, v. 117, n. 17, p. 11570-11648, 2017.

GALOSKI, C. MARTÍNEZ, A. E. J.; SCHULTZ, G. B. SANTOS, I.; FROEHNER, S. Use of n-alkanes to trace erosion and main sources of sediments in a watershed in southern Brazil. **Science of the Total Environment,** v. 682, p. 447-456, 2019.

OLORUNFEMI, I. E.; OGUNRINDE, T. A.; FASINMIRIN, J. T. Soil hydrophobicity: an overview. **Journal of Scientific Research and Reports**, v. 3, n. 8, p. 1003-1037, 2014.

PERALTA, R. M. **Biodegradação e Biorremediação (ênfase em bactérias e fungos).** Mérida Publishers. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022. 228 p.

SILVA-CASTRO, G.A.; UAD, I.; GÓNZALEZ-LOPES, J.; FANDIÑO, C. G.; TOLEDO, F. L.; CALVO, C. Application of selected microbial consortia combined with inorganic and oleophilic fertilizers to recuperate oil-polluted soil using land farming technology. **Clean Techn Environ Policy,** v.14, p. 719-726, 2012.

SIMPSON, I.; BERGEN, P. F.; EVERSHED, R. P. Lipid biomarkers of manuring practice in relict anthropogenic soils. **The Holocene**, v. 9, n. 2, p. 223-229, 1999.

WALKER, T. R.; MCGUINTY, E.; HICKMAN, D. Marine debris database development using international best practices: A case study in Vietnam. **Marine Pollution Bulletin**, v. 173 part A, 2021.

WIESENBERG, G. L. B.; SCHWARZBAUER, J.; SCHMIDT, M. W. I.; SCHWARK, L. Source and turnover of organic matter in agricultural soils derived from n-alkane/n-carboxylic acid compositions and C-isotope signatures. **Organic Geochemistry**, v. 35, n. 11-12, p. 1371-1393, 2004.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

A ADUBAÇÃO COM DEJETO LÍQUIDO BOVINO DE LONGO PRAZO AUMENTA OS TEORES DE CU E ZN DO SOLO E DA SOLUÇÃO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO?

Paloma Estefane Santana Ferreira[1*], Felipe Youssef Abboud [2], Helen Cristina Cunico[3], Nerilde Favaretto[4], Gabriel Barth[5]

[1] Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, paloma.santana@ufpr.br*; [2] Mestre em Ciência do Solo, Extensionista, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná; [3] Engenheira Agrônoma, Universidade Federal do Paraná; [3]Professora Doutora no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná; [4]Pesquisador, Coordenador de Pesquisa, Fundação ABC

RESUMO

A prática de aplicação de dejetos de animais no solo é comumente utilizada para dar destino aos resíduos e fornecer nutrientes e matéria orgânica. O objetivo deste estudo foi observar se as doses de dejeto líquido bovino (DLB): 0, 60, 120 e 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, aplicadas consecutivamente durante 10 anos elevariam as frações total, disponível e na solução do solo de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) em diferentes profundidades (0-0,1;0,1-0,2;0,2-0,3;0,3-0,4;0,4-0,5;0,5-0,6 m). De modo geral, os resultados indicam maiores concentrações na maior dose do DLB, com aproximadamente o dobro das concentrações do tratamento controle (sem DLB) na camada de 0-0,1 m tanto no solo de textura franco argilo arenosa como no de textura muito argilosa. Os resultados mais significativos são apontados no solo de textura franco argilo arenosa com diferenças até 0,6 m. A fração biodisponível, representada pela fração extraída com DTPA e pela solução do solo, e, portanto, a mais preocupante ambientalmente no curto prazo, aumentou significativamente com aplicação de DLB, e, portanto, práticas conservacionistas devem ser adotadas para evitar o transporte do solo para os cursos d'água.

PALAVRAS-CHAVE: matéria orgânica**;** metais pesados; sistema aquático; adubação orgânica.

INTRODUÇÃO

A bovinocultura leiteira do Brasil ocupa a terceira colocação no ranking de maior produtor mundial com 35 milhões de litros de leite ao ano. No setor interno, o Paraná é o segundo estado detentor dos maiores polos de produção, impulsionado pela bacia leiteira de Campos Gerais, com produção estimada de 8,5 litros por vaca (IBGE,2023; Embrapa,2024). O dejeto líquido bovino (DLB) proveniente do sistema de criação de gado confinado ou semiconfinado é aplicado no solo fornecendo nutrientes e matéria orgânica.

Entretanto, o uso de dejetos de animais na agricultura pode acarretar problemas ambientais relacionados a poluição do solo e da água. Com relação aos metais pesados, aplicação sucessiva de DLB pode proporcionar o excesso de cobre (Cu) e Zinco (Zn) no solo, os quais são adicionados na dieta animal com o objetivo de promover o crescimento, prevenção de doenças e melhora da digestibilidade, sendo essenciais em pequenas quantidades. Esses elementos são micronutrientes para as plantas, mas potencialmente tóxicos em excesso, e devido a sua cumulativa no solo, podem participar significativamente na poluição dos recursos hídricos via escoamento superficial e subsuperficial (Tiecher, 2015).

Neste contexto, o presente trabalho possui como objetivo determinar se a aplicação de DLB em sistema plantio direto durante 10 anos consecutivos afeta as concentrações de Cu e Zn no solo e na solução em diferentes profundidades.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nas Estações Experimentais da Fundação ABC-PR, o primeiro, localizado em Ponta Grossa-Paraná, Brasil, implantado em 2005. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho, de textura franco argilo arenoso com relevo suave ondulado, 13% de declividade. O segundo está situado em Castro-Paraná, Brasil, implantado em 2006. O solo do local é classificado como Latossolo Bruno Distrófico típico, de textura muito argilosa e declividade de 10% (Abboud, 2016).

Foram realizados 4 tratamentos com aplicação de DLB nas seguintes as doses: 0, 60, 120 e 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. A aplicação foi realizada utilizando regadores manuais entre as linhas de plantio. A metade de cada uma das doses foi aplicada na cultura de verão (milho ou soja) e a outra metade aplicada na cultura de inverno (trigo ou aveia). Em ambas as áreas o estudo foi conduzindo em sistema plantio direto com rotação de culturas. O delineamento experimental foi casualizado em blocos, 4 tratamentos com 4 blocos totalizado 16 parcelas experimentais, com 29.75 m² (8,5 m x 3,5m) cada. A delimitação do perímetro das unidades foi feita por chapas de zinco galvanizado, medindo 10 cm de altura e 5 cm de profundidade.

As coletas de solo foram realizadas em setembro de 2014, nos dois experimentos, em cada parcela experimental em seis profundidades (0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,4-0,5; 0,5-0,6 m) com auxílio de trado calador. A extração de Cu e Zn total foi realizada por microondas pelo Método USEPA 3051 A (USEPA, 2007), e a extração do teor disponível foi realizada com DTPA (Raij *et al.*,2001). A solução do solo foi extraída pelo método de pasta saturada (Rhoades, 1996). As concentrações de todas as frações foram obtidas através da leitura no espectrofotômetro de absorção atômica. Os dados em cada profundidade e em cada solo, foram submetidos a análise de variância e teste de Tukey a 5% para comparação de médias, utilizando o software estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados demonstram, em geral, aumento dos teores de Cu e Zn na fração total, disponível extraído com DTPA, bem como na solução do solo (Tabela 1). As maiores concentrações ocorreram especialmente nas maiores doses, na camada de 0-0,1 m. No solo de textura franco argilo arenosa, tanto Cu quanto Zn, o teor total na dose 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1} foi praticamente duas vezes superior aos teores do tratamento controle, sendo o Zn com maiores acréscimos, variando de 19 a 36 mg kg^{-1} e de 4 a 16 mg kg^{-1} para a fração total e disponível, respectivamente. Para a solução do solo, o Cu, nessa camada apresentou o valor mais significativo variando de 0,027 a 0,092 mg L^{-1}.

A concentração total é um indicador limitado em termos de biodisponibilidade, pois essa fração está distribuída em diversas formas, tanto na fase sólida do solo de forma não lábil e lábil, como na fase líquida (solução). A fração lábil representa os teores de Cu e Zn adsorvidos aos minerais e na matéria orgânica do solo com ligações fracas, e no nosso experimento extraído com DTPA, podendo ser biodisponível de acordo com a dinâmica da solução do solo, enquanto a fração da solução do solo representa os teores de Cu e Zn prontamente biodisponível. Com relação as frações biodisponível (Tabela 1), as camadas mais profundas não apresentaram aumento com aplicação de DLB, indicando a elevada capacidade de adsorção de Cu e Zn o que caracteriza baixa mobilidade.

A fração mais preocupante em termos ambientais é a da solução do solo, pois está disponível para ser absorvida pelas plantas e transportada via fluxo de superfície e subsuperfície, no entanto, quando se considera a fração total e disponível, o transporte via processo erosivo é o mais preocupante (Abboud, 2016). Portanto, é fundamental considerar a acumulação desses metais no solo, a fim de evitar o transporte até os corpos d'água, e, dessa maneira, práticas de suporte devem estar associadas a aplicação do DLB.

CONCLUSÕES

Aplicações consecutivas de DLB aumentaram as concentrações de Cu e Zn no solo e na solução do solo em todas as frações analisadas, especialmente nas camadas superficiais, porém com diferenças estatísticas significativas até 0,6 m, principalmente no solo de textura franco argilo arenosa.

Tabela 1. Concentrações de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) total e DTPA (mg kg^{-1}) no solo e na solução do solo (mg L^{-1}) em solo de textura argilosa (Castro-PR) e de textura franco argilo arenosa (Ponta Grossa- PR) com aplicação de dejeto líquido bovino (DLB) de longo prazo em sistema plantio direto.

Teores Totais de Cu e Zn (mg kg^{-1})							
Micronutriente	***DLB (m^3 ha^{-1} ano^{-1})***	***Profundidade (m)***					
		0- 0,1	**0,1-0,2**	**0,2-0,3**	**0,3-0,4**	**0,4-0,5**	**0,5-0,6**
Cu-Castro	**0**	24,4 ns	28,1 ns	23,4 ns	17,8 ns	21,5 ns	20,8
	60	22,6	24,4	22,3	20,2	20,6	20,0
	120	24,6	24,6	22,2	17,2	20,9	21,7
	180	27,1	27,3	23,3	20,4	21,5	20,3
Cu-Ponta Grossa	**0**	13,8 d	13,6 ns	10,3 ns	13,3 ns	15,2 ns	11,4 ns
	60	17,1 c	13,3	10,5	14,3	15,3	11,0
	120	23,5 b	13,8	9,4	14,7	14,7	11,4
	180	28,3 a	14,4	10,2	13,1	13,8	9,6
Zn-Castro	**0**	30,2 b	23,7 ns	15,9 ns	11,7 b	13,8 ns	14,5 ns
	60	35,4 ab	18,2	16,8	13,4 ab	14,0	12,3
	120	45,7 a	20,6	15,6	14,0 ab	13,2	13,6
	180	47,0 a	23,8	18,1	15,2 a	13,6	12,4
Zn-Ponta Grossa	**0**	18,9 b	13,1 ns	13,8 ns	9,2 ns	10,5 ns	9,2 ns
	60	19,1 ab	16,6	14,7	7,3	10,8	8,5
	120	26,1 ab	15,2	23,1	7,6	10,2	7,0
Teores DTPA de Cu e Zn (mg kg^{-1})							
Micronutriente	***DLB (m^3 ha^{-1} ano^{-1})***	***Profundidade (m)***					
		0- 0,1	**0,1-0,2**	**0,2-0,3**	**0,3-0,4**	**0,4-0,5**	**0,5-0,6**
Cu-Castro	**0**	3,4 ns	0,1 ns	2,6 ns	2,1 ns	1,8 ns	1,6 ns
	60	3,1	2,9	2,6	2,3	1,9	1,7
	120	3,3	0,1	2,6	2,2	1,9	1,6
	180	3,9	3,1	2,8	2,1	1,9	1,7
Cu-Ponta Grossa	**0**	3,6 ns	0,7 c	0,7 b	0,6 c	0,5 b	0,5 b
	60	5,6	1,1 bc	1,0 ab	0,7 b	0,6 ab	0,6 ab
	120	2,8	1,4 ab	0,9 b	0,8 b	0,6 ab	0,6 ab
	180	5,8	2,1 a	1,2 a	1,0 a	0,7 a	0,7 a
Zn-Castro	**0**	5,9 c	2,6 ns	0,2 b	0,1 b	0,1 b	0,4 a
	60	9,1 bc	1,2	0,2 ab	0,2 a	0,1 b	0,1 ab
	120	11,8 ab	3,5	0,5 ab	0,2 a	0,3 a	0,2 ab
	180	15,0 a	6,2	0,7 a	0,2 a	0,2 b	0,1 b
Zn-Ponta Grossa	**0**	3,7 b	2,1 ns	0,9 ns	0,3 ns	n.d *	n.d *
	60	6,9 ab	6,1	0,6	0,3	n.d *	n.d *
	120	9,6 ab	1,9	0,5	0,3	n.d *	n.d *
	180	15,6 a	7,6	1,1	0,2	n.d *	n.d *

Tabela 1 (continuação). Concentrações de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) total e DTPA (mg kg^{-1}) no solo e na solução do solo (mg L^{-1}) em solo de textura argilosa (Castro-PR) e de textura franco argilo arenosa (Ponta Grossa- PR) com aplicação de dejeto líquido bovino (DLB) de longo prazo em sistema plantio direto.

Teores de Solução do solo de Cu e Zn (mg L^{-1})							
Micronutriente	*DLB (m^3 $há^{-1}$ ano^{-1})*	*Profundidade (m)*					
		0- 0,1	**0,1-0,2**	**0,2-0,3**	**0,3-0,4**	**0,4-0,5**	**0,5-0,6**
Cu-Castro	**0**	0,014 ns	0,008 ns	0,003 ns	0,002 ns	0,002 ns	0,002 ns
	60	0,019	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001
	120	0,024	0,007	0,004	0,002	0,003	0,001
	180	0,026	0,011	0,006	0,006	0,002	0,001
Cu-Ponta Grossa	**0**	0,027 c	0,010 b	0,007 ns	0,007 ns	0,005 ns	0,004 ns
	60	0,050 bc	0,021 ab	0,012	0,008	0,006	0,005
	120	0,063 ab	0,029 a	0,011	0,007	0,006	0,005
	180	0,092 a	0,029 a	0,013	0,009	0,007	0,006
Zn-Castro	**0**	0,047 a	0,06 ns	0,030 ns	0,010 ns	0,014 ns	0,012 ns
	60	0,027 ab	0,041	0,040	0,008	0,019	0,007
	120	0,027 ab	0,030	0,026	0,009	0,014	0,006
	180	0,014 b	0,017	0,047	0,006	0,019	0,005
Zn-Ponta Grossa	**0**	0,019 ns	0,028 ns	0,034 ns	0,077 ns	0,040 ns	0,032 ns
	60	0,029	0,038	0,042	0,056	0,036	0,043
	120	0,020	0,016	0,016	0,032	0,017	0,031
	180	0,033	0,018	0,024	0,032	0,014	0,050

Ns=não estatisticamente significativo.
Fonte: Os autores, 2025.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Fundação de Amparo ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (Fundação Araucária) e à Fundação de Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária (Fundação ABC) pelo apoio de campo.

BIBLIOGRAFIA

ABBOUD, F. Y. **Mobilidade de nutrientes no perfil do solo em plantio direto com aplicação de dejeto líquido bovino em longo prazo**. 2016. 64f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cadeia produtiva do leite vê cenário desafiador no ano de 2024**. Brasília.2024.

IBGE.INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de leite no Brasil**. Rio de Janeiro,2023.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 2001,284 f. Campinas, Instituto Agronômico, 2001.

RHOADES JD. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *In:* SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMEKE, P.A.; LEOPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. Editors. **Methods of soil analysis.** Part 3. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI; 1996. p.417-435.

TIECHER.T**. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: Impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água.** Frederico Westphalen: Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.2017.183f. (Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Boletim Técnico,2016).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Method 3051a**. 33 2007.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO SOLO NA PERDA DE ÁGUA E SEDIMENTOS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE DEJETO ANIMAL

Luciane Lemos do Prado[1*], Ana Paula Marés Mikosik[2], Nerilde Favaretto[3], Gabriel Barth[4], João Pedro de Barros Leinecker [2]

[1*]Doutoranda, Universidade Federal do Paraná. E-mail: lucianeprado@ufpr.br, [2]Pesquisador(a), Universidade Federal do Paraná, [3]Professora, Universidade Federal do Paraná, [4]Pesquisador, Fundação ABC

RESUMO

A cobertura do solo associado aos processos de perdas de água e solo, o tipo de resíduo de cobertura e estágio da cultura, tem se mostrado importante para a compreensão da dinâmica das perdas. Experimentos de longo prazo fornecem dados essenciais para avaliar os efeitos de cobertura em evento de alta precipitação. A adubação com dejeto líquido bovino tem apresentado efeitos positivos quando aplicado na dose e período correto. Para compreender esta dinâmica, o estudo avaliou as perdas de água e solo em área de plantio direto com aplicação de dejeto líquido bovino (DLB) de três doses e um controle. Para o período de até 30 dias da semeadura, fase em que o resíduo da cultura anterior deve proteger o solo, os dados indicam maiores perdas de água (114%) e solo (12 kg ha^{-1}) com resíduo de soja/cultura aveia. De qualquer forma, a aplicação de DLB apresentou efeito positivo comparado ao controle.

PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica; dossel; dejeto líquido bovino; hidrofobicidade.

INTRODUÇÃO

Uma das premissas do sistema plantio direto (SPD) é a cobertura permanente do solo, por meio da diversificação das culturas e do não revolvimento do solo. A persistência dos resíduos produzidos pelas culturas em rotação é uma importante estratégia para uma cobertura eficaz do solo (Canalli *et al*., 2020). A rotação de culturas segue uma sequência pré-estabelecida, com diferentes espécies vegetais, na mesma área ao longo do tempo. A cobertura do solo melhora os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, aumentando a infiltração e, consequentemente, diminuindo o escoamento e a erosão do solo (Franchini *et al*., 2011). De forma similar, a aplicação a longo prazo de dejeto líquido bovino (DLB) também tem esse efeito positivo, geralmente, associados à entrada de carbono (matéria orgânica e nutrientes do DLB e indiretamente ao aumento da produção agrícola (Maltas *et al*., 2013).

No entanto, a dose e forma de aplicação (superficial ou incorporado ao solo) do DLB, o intervalo entre a aplicação e ocorrência de chuva e a intensidade da chuva influenciam as perdas de água, sedimentos e nutrientes via escoamento superficial. Além disso, o DLB aplicado na superfície do solo pode causar o selamento que reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, resultando em perdas de água, solo e nutrientes (Cherobim *et al*., 2015).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da cobertura do solo nas perdas de água e sedimento, via escoamento superficial, sob sistema plantio direto com e sem aplicação de DLB dos 16 eventos com maiores perdas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na estação de pesquisa da Fundação ABC, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. O experimento foi conduzido em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico de textura franco-argilo arenosa, com 13% de declividade. O clima é classificado como Cfb - subtropical úmido mesotérmico (Köppen) com precipitação média anual de 1552 mm (Alvares *et al*., 2013).

A área foi cultivada sob rotação de culturas com soja e milho no verão e aveia e trigo no inverno (Tabela 1), manejo SPD e aplicação de DLB desde 2005.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos correspondem a aplicação de DLB: 60, 120 e 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e um controle (sem aplicação de DLB). A taxa de DLB foi dividida metade entre a safra de verão e inverno. A aplicação foi realizada manualmente na superfície do solo (sem incorporação).

Tabela 1. Cultura, semeadura e aplicação de dejeto líquido bovino (DLB) no período 2015-2021, Ponta Grossa-PR.

Safra/ano	Cultura	Semeadura	Colheita	Aplicação do DLB
Verão 15/16	Soja	19/11/2015	08/04/2016	01/02/2016
Inverno 2016	Aveia Preta	17/05/2016	Sem colheita	19/07/2016
Verão 16/17	Milho	23/09/2016	14/03/2017	28/10/2016
Inverno 2017	Trigo	26/06/2017	06/11/2017	24/08/2017
Verão 17/18	Soja	15/11/2017	09/04/2018	25/01/2018
Inverno 2018	Aveia Preta	23/05/2018	Sem colheita	16/08/2018
Verão 18/19	Soja	05/11/2018	22/03/2019	06/12/2018
Inverno 2019	Aveia Preta	13/05/2019	Sem colheita	16/07/2019
Verão 19/20	Soja	31/10/2019	12/03/2020	26/12/2019
Inverno 2020	Aveia Preta	01/04/2020	Sem colheita	20/05/2020
Verão 20/21	Milho	16/09/2020	24/02/2021	16/10/2020
Inverno 2021	Trigo	24/06/2021	19/11/2021	05/08/2021

Cada parcela (29,75 m²), delimitada por chapas de zinco e calha conectada a um galão plástico de 60 L, o qual recebeu o volume escoado. O escoamento superficial foi coletado durante seis anos (2015-2021), após cada evento de precipitação que gerou volume mínimo de 500 mL e em pelo menos uma das parcelas. A amostra foi homogeneizada e separada uma alíquota de 1 L para realização das análises físico-químicas. Para o presente estudo, foram selecionados os 16 eventos com maiores perdas de volume de água e sedimento. Os eventos foram separados com base no desenvolvimento da cultura e cobertura/resíduo do solo: (a) Até 30 dias da semeadura; (b) após 30 dias da semeadura e (c) após colheita.

Para analisar a concentração de sedimentos, uma alíquota representativa de 50 mL do escoamento superficial foi seca a 105°C até peso constante (APHA, 2012). A perda foi calculada multiplicando a concentração de sedimento pelo volume de escoamento, e para obter a perda, o dado foi transformado em kg ha^{-1}. O cálculo do percentual de perdas de volume de água foi feito conforme a equação 1:

Equação 1 $\% Volume = (Ve * 100/Vp) * 10$, Em que Ve é o volume de escoamento (mm) e Vp o volume de precipitação que gerou o evento (mm). O fator de multiplicação por 10 foi para maior representatividade do valor.

Os dados de perdas de água e sedimentos foram avaliados considerando os seguintes períodos: (i) até 30 dias após a semeadura de cada cultura sendo, portanto, o resíduo da cultura anterior o elemento de maior influência; (ii) após 30 dias da semeadura sendo, portanto, o dossel da cultura atual é o elemento de maior influência; (iii) entre colheita e semeadura, onde o resíduo da cultura atual é o elemento de maio influência.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Bartlett). Verificados esses critérios, os dados foram submetidos à ANOVA e quando significativo foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias ($p<0.10$) usando o Minitab 17.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de perdas de água e sedimentos (Tabela 2) indicam que no período de até 30 dias da semeadura, o resíduo da soja foi o que ocasionou as maiores perdas de água e sedimento, possivelmente pela menor cobertura do solo. Para o período de até 30 dias da semeadura, ou seja, período em que a

cobertura pelo resíduo se torna fundamental durante os processos de chuva, os dados são significativos para maiores perdas quando o resíduo de cobertura é da soja. Para as perdas de água o % de volume chega a ser 4 vezes superior comparado às outras duas condições, sendo 114% de perda de água para o resíduo de soja. A taxa de decomposição do resíduo vegetal, com base na composição química, razão C/N, temperatura e umidade são fatores que contribuem com a permanência do resíduo na cobertura do solo (Canalli *et al*., 2020).

O período após 30 dias da semeadura, em que o dossel tem papel importante na proteção do solo, as perdas de água não apresentaram diferenças significativas para as condições avaliada. Entretanto, na perda de sedimentos, o período com a cobertura de soja apresentou diferença significativa comparado às outras duas condições. A perda de solo para este período é 67% superior comparado a condição de cobertura com aveia.

Tabela 2. Médias de perda de água e sedimentos dos diferentes resíduos e culturas nos períodos: a) até 30 dias da semeadura; b) após 30 dias da semeadura; c) entre colheita e semeadura, em sistema plantio direto com aplicação de dejeto liquido bovino, em Ponta Grossa, PR.

Média da perda de água até 30 dias da semeadura com base no resíduo de cobertura		Média da perda de sedimentos até 30 dias da semeadura com base no resíduo de cobertura		
Resíduo/Cultura	% Volume	Resíduo/Cultura	ln Sólidos	Sólidos (kg ha^{-1})
Soja/Aveia	114,3 a	Soja/Aveia	2,5 a	12,0
Aveia/Milho	25,1 b	Aveia/Milho	2,2 ab	9,5
Aveia/Soja	5,1 c	Aveia/Soja	1,3 b	3,8
Média da perda de água após 30 dias da semeadura com base na cobertura		Média da perda de sedimentos após 30 dias da semeadura com base na cobertura		
Cobertura/Resíduo	% Volume	Cobertura/Resíduo	Sólidos (kg ha^{-1})	
Soja/Trigo	52,7 ns	Soja/Trigo	50,4 a	
Milho/Aveia	37,9 ns	Milho/Aveia	19,7 b	
Aveia/Soja	37,3 ns	Aveia/Soja	7,5 b	
Média da perda de água após Colheita com base no resíduo de cobertura		Média da perda de sedimentos após Colheita com base no resíduo de cobertura		
Resíduo	% Volume	Resíduo	Sólidos (kg ha^{-1})	
Milho	2,5 ns	Milho	2,6 a	
Soja	1,5 ns	Soja	1,6 b	

Medias seguidas pela mesma letra dentro de cada período não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, p-valor<0,10

Sobre efeito de DLB nas perdas de água e solo nos diferentes períodos, observa-se, de modo geral, uma tendência de redução de perdas com aplicação DL (Tabela 3). Para os períodos analisados, o controle apresentou diferença significativa nas perdas comparado a maior dose de DLB (180 m^{3}ha^{-1}). Até 30 dias da semeadura, a perda de água do controle chega a ser 33% maior que a perda de água observado na condição com aplicação de DL na dose de 180 m^{3}ha^{-1}. Enquanto para o período após 30 dias de semeadura a perda de água chega a ser 44% maior para o mesmo comparativo.

Tabela 3. Médias de perda de água e solo nas diferentes doses de dejeto líquido bovino (DLB) nos períodos: a) até 30 dias da semeadura; b) após 30 dias da semeadura; em sistema plantio direto com aplicação de dejeto líquido bovino, em Ponta Grossa, PR.

Média da perda de água até 30 dias da semeadura com base na dose		Média da perda de solo até 30 dias da semeadura com base na dose		
Dose (m^3ha^{-1})	% Volume	Dose (m^3ha^{-1})	ln Sólidos	Sólidos (kg ha^{-1})
0	58,1 a	0	2,55 a	12,8
60	47,2 ab	120	2,01 a	7,4
120	48,4 ab	180	1,78 a	5,9
180	39,0 b	60	1,75 b	5,8
Média da perda de água após 30 dias da semeadura com base na dose		Média da perda de solo após 30 dias da semeadura com base na dose		
Dose (m^3ha^{-1})	% Volume	Dose (m^3ha^{-1})	√ Sólidos	Sólidos (kg ha^{-1})
0	56,4 a	0	3,95 a	15,6
60	42,0 ab	60	3,71 ab	13,8
120	41,3 ab	120	3,61ab	13,0
180	30,8 b	180	3,34 b	11,1

Medias seguidas pela mesma letra dentro de cada período não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, p-valor<0,10

CONCLUSÕES

As maiores perdas de água e sedimentos indicam que tanto o resíduo soja quanto a cobertura soja/resíduo trigo nas condições experimentais com perdas significativas. A aplicação de dejeto líquido bovino atua de forma positiva quando comparamos as perdas de água e sedimentos no controle.

AGRADECIMENTOS

Fundação Araucária. Fundação ABC. UFPR.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, Clayton Alcarde *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American public health association,2012

CANALLI, Lutécia Beatriz dos Santos *et al*. Residues decomposition in crop rotations under no-till system. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, p. e20190609, 2020.

CHEROBIM, Verediana Fernanda *et al*. Water infiltration post-liquid dairy manure application in no-till Oxisol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 153, p. 104-111, 2015.

FRANCHINI, Julio Cezar *et al*. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. 2011.

MALTAS, Alexandra *et al*. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: Results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 11-18, 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS AUMENTA AS PERDAS DE NUTRIENTES DO SOLO POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Breynner Gustavo Pavão Bertagnoli[1], José Francirlei de Oliveira[2], João Antônio da Silva[3], Graziela Moraes de Cesare Barbosa[4], Arnaldo Colozzi Filho[4*]

[1] Bolsista de pós-doutorado, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER; [2]Analista, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER; [3]Bolsista técnico, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER; [4] Pesquisador, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER. * acolozzi@idr.pr.gov.br

RESUMO

A aplicação de cama de aviário (CA) e dejeto líquido de suínos (DLS) em sistemas agrícolas, pode resultar na contaminação do solo e da água devido ao escoamento superficial. Nesse sentido, o objetivo foi avaliar o transporte de nutrientes e sedimentos por escoamento superficial em unidades rurais da bacia do rio Ocoí que recebem aplicações de dejetos animais. O experimento foi conduzido em 18 unidades rurais, onde foram realizadas chuvas simuladas para a análise do líquido do escoamento superficial, avaliando-se as perdas de sedimentos e nutrientes. A aplicação isolada de CA no solo reduziu as perdas de nutrientes por escoamento superficial, enquanto a aplicação de DLS favoreceu sua mobilização e transporte, resultando em maiores perdas de macronutrientes via escoamento superficial. No entanto, o tipo de dejeto aplicado não afetou significativamente o tempo de início do escoamento nem a quantidade de solo perdida por erosão hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: dejetos animais; erosão hídrica; contaminação ambiental.

INTRODUÇÃO

A aplicação de dejetos animais em sistemas agrícolas, como a CA e o DLS, tem se mostrado uma estratégia valiosa para aumentar a fertilidade do solo e promover a sustentabilidade da produção agrícola. Esses resíduos são ricos em nutrientes essenciais para as plantas, incluindo nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de contribuírem para a melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo (BERTAGNOLI *et al*., 2020).

No entanto, a aplicação inadequada ou excessiva desses resíduos pode acarretar impactos ambientais significativos, especialmente no que se refere à contaminação dos recursos hídricos. O escoamento superficial em áreas agrícolas que recebem dejetos pode transportar quantidades expressivas de nutrientes, particularmente fósforo e potássio, para corpos d'água adjacentes, causando eutrofização, o que favorece a proliferação descontrolada de algas, reduzindo a qualidade da água, comprometendo a biodiversidade aquática e restringindo o uso dos recursos hídricos para consumo e outras atividades (MORAIS *et al*., 2023).

Para minimizar esses impactos, o manejo adequado da aplicação de dejetos é fundamental. Estratégias como a definição adequada das quantidades aplicadas, a adoção de práticas conservacionistas do solo, como o plantio direto e o terraceamento, e o monitoramento constante das concentrações de nutrientes no solo e na água são essenciais para mitigar a poluição difusa associada ao escoamento superficial (MORAIS *et al*., 2023).

Diante desse contexto, a hipótese do presente estudo é que a aplicação de diferentes tipos de dejetos animais no solo apresenta potenciais poluidores distintos, devido à variabilidade na perda de nutrientes por escoamento superficial. Portanto, o objetivo foi avaliar o transporte de sedimentos e nutrientes por escoamento superficial em unidades rurais da bacia do rio Ocoí que recebem aplicações de dejetos animais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em 18 unidades rurais localizadas na bacia do rio Ocoí, abrangendo quatro municípios do Oeste do Paraná: Itaipulândia, Missal, Medianeira e Matelândia. Dentre essas unidades, seis

utilizam exclusivamente DLS, oito aplicam apenas CA e quatro realizam a aplicação combinada de ambos os resíduos (DLS-CA), porém com doses variáveis e sem regularidade anual. O manejo do solo difere entre as unidades, predominando o cultivo de grãos, com soja no verão e milho safrinha no inverno em sistema de plantio direto, além da presença de áreas destinadas à pastagem com gramíneas. Nessas unidades, foram realizadas chuvas simuladas durante a safra de inverno, nos meses de setembro de 2022 e setembro de 2023. A chuva simulada foi realizada antes da aplicação dos dejetos para evitar o efeito pontual da aplicação.

Para a simulação de chuva, utilizou-se um equipamento descrito por Roth *et al*. (1985). Foi utilizada uma precipitação de 80 mm ao longo de uma hora. O experimento foi conduzido em uma área delimitada por uma caixa metálica sem fundo, com dimensões de 50 cm × 50 cm (0,25 m^2), com 25 cm de profundidade, inserida no solo a uma profundidade de 10 cm. A precipitação simulada foi aplicada no centro da caixa experimental, permitindo a coleta do escoamento superficial pela lateral da caixa.

As amostras de água coletadas foram homogeneizadas e acidificadas para facilitar a sedimentação da fração argila, seguida da separação do material para análises químicas que foram realizadas de acordo com o método descrito por Pavan *et al*. (1992). Foram quantificadas as perdas de sedimentos e de fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, cobre e zinco, transportados pelo escoamento superficial induzido pela chuva simulada.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelas comparações múltiplas de médias utilizando o teste de Dunn. As comparações foram corrigidas pelo método de Bonferroni, adotando-se um nível de confiança de 90% ($p \leq 0,1$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à análise química da água proveniente do escoamento superficial estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Concentração de nutrientes no escoamento superficial de áreas agrícolas de produção que recebem aplicações de CA, DLS e DLS-CA, em unidades rurais localizadas na bacia do rio Ocoí.

Dejetos	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
	mg L^{-1}						
CA	1,13 b*	0,70 b	6,83 b	16,03 ab	5,27 a	0,04 a	0,11 a
DLS-CA	1,89 a	2,23 ab	13,47 a	25,74 a	9,08 a	0,09 a	0,20 a
DLS	2,01 a	4,03 a	11,82 a	7,89 b	0,85 b	0,06 a	0,15 a
p-valor	0,10	< 0,001	0,06	0,06	0,02	0,77	0,43

A aplicação com DLS favoreceu as perdas de nutrientes via escoamento superficial, especialmente de nitrogênio, fósforo e potássio, independentemente da combinação ou não com CA. Por outro lado, de modo geral, a aplicação isolada de CA apresentou as menores perdas por escoamento superficial, com exceção do manganês.

As maiores perdas de nutrientes observadas com a aplicação de DLS podem ser atribuídas às elevadas concentrações de compostos solúveis nesse tipo de dejeto, particularmente fósforo, potássio e nitrogênio na forma amoniacal ou orgânica solúvel, que são mais suscetíveis à lixiviação e ao transporte pela água da chuva. Essa elevada carga de nutrientes no escoamento superficial pode aumentar o risco de eutrofização

de corpos hídricos, promovendo o crescimento excessivo de algas e impactando negativamente a qualidade da água (CADONÁ *et al*., 2022).

A aplicação combinada de DLS-CA resultou em perdas intermediárias para a maioria dos nutrientes, mas promoveu um aumento expressivo nas concentrações de cálcio e magnésio no escoamento superficial. Esse efeito pode estar associado a interações químicas entre os dois tipos de dejetos, em que a CA, por fornecer maior teor de matéria orgânica, pode favorecer a mobilização desses elementos, especialmente na presença do DLS, que contém uma alta proporção de líquidos.

Por sua vez, a aplicação isolada de CA apresentou as menores concentrações de nutrientes no escoamento superficial, o que pode ser explicado pelo maior teor de matéria orgânica e pela menor solubilidade de seus nutrientes. Além disso, sua característica mais sólida reduz a mobilidade dos elementos em comparação ao DLS. Esses resultados sugerem que a CA pode representar uma alternativa mais sustentável para a fertilização agrícola, minimizando as perdas de nutrientes por escoamento superficial.

Os dados referentes ao tempo de início do escoamento e às perdas de solo por escoamento superficial encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Tempo de início do escoamento (TIE) e perda de solo (PS) no escoamento superficial de áreas agrícolas de produção que recebem aplicações de CA, DLS e DLS-CA, em unidades rurais localizadas na bacia do rio Ocoí.

Dejeto	TIE min	PS kg/m^2
CA	5,50 a*	0,03 a
DLS-CA	3,33 a	0,03 a
DLS	7,33 a	0,03 a
p-valor	0,17	0,39

Não foram observadas diferenças significativas em relação ao tempo de início do escoamento superficial e à perda de solo após a aplicação de DLS, CA e DLS-CA, apesar do tempo médio para o início do escoamento ter variado entre os tratamentos, DLS-CA (3,33 min), CA (5,50 min) e DLS (7,33 min). Isso indica que o tipo de dejeto aplicado não influencia de maneira expressiva o tempo com que a água começa a escoar após o início da precipitação. Esse resultado pode estar relacionado a fatores como a capacidade de infiltração e a cobertura da superfície com palhada, o que dissipa a energia do desprendimento causado pela gota da chuva e reduz a formação do selamento superficial. Vale ressaltar que a umidade antecedente no solo estava acima da capacidade de campo causada por chuvas nos cinco dias anteriores à realização da chuva simulada, e que esse fato foi determinante para que o início do escoamento fosse antecipado.

Da mesma forma, a perda de solo por erosão foi semelhante entre os tratamentos, apresentando um valor de 0,03 kg/m^2 em todos os casos. Esses dados sugerem que, independentemente do tipo de dejeto utilizado, a quantidade de solo removida pela erosão hídrica permaneceu constante e normal (< 0,05 kg/m^2, Zanella *et al*., 2023). Esse resultado é relevante, pois indica que a aplicação de CA, DLS ou DLS-CA não aumenta a suscetibilidade à erosão sob as condições avaliadas.

Embora os diferentes dejetos aplicados não tenham interferido significativamente no tempo de início do escoamento nem na perda de solo, influenciaram de forma significativa a quantidade de nutrientes perdidos via escoamento superficial. Esses resultados reforçam a importância da adoção de práticas conservacionistas em áreas de produção agrícola que utilizam dejetos animais para fertilização do solo.

Estratégias como o parcelamento da aplicação de DLS para reduzir a carga instantânea de nutrientes e minimizar o risco de transporte superficial, além de técnicas como plantio em nível, manutenção de cobertura vegetal, faixas de retenção e terraceamento, podem contribuir para a mitigação dos impactos ambientais associados ao escoamento superficial (Colozzi Filho *et al*., 2024).

CONCLUSÕES

As perdas de nutrientes por escoamento superficial foram menores quando a CA foi aplicada de forma isolada, especialmente os macronutrientes. A aplicação de DLS favorece a mobilização e o transporte de nutrientes devido à sua característica líquida, resultando em maiores perdas via escoamento superficial. O tipo de dejeto aplicado não afeta significativamente o tempo de início do escoamento nem a quantidade de solo perdida por erosão hídrica.

As elevadas perdas de nutrientes por escoamento superficial decorrentes da aplicação de DLS no solo ressaltam a importância da adoção de práticas conservacionistas para mitigar esses impactos. Estratégias como o plantio direto e o terraceamento são fundamentais para reduzir o transporte de nutrientes, promovendo a conservação do solo e da qualidade da água.

AGRADECIMENTOS

À Itaipu Binacional pelo apoio na execução do Projeto Ação Integrada de solo e Água (AISA).

BIBLIOGRAFIA

BERTAGNOLI, B. G. P.; OLIVEIRA, J. F.; BARBOSA, G. M. C.; COLOZZI FILHO, A. Poultry litter and liquid swine slurry applications stimulate glomalin, extraradicular mycelium production, and aggregation in soils. **Soil and Tillage Research**, v. 202, 104657, 2020.

CADONÁ, E. A.; SETE, P. B.; COMIN, J. J.; LOSS, A.; SOARES, C. R. F. S.; SOUZA, E. L.; LOURENZI, C. R.; CANTU, R. R. Contaminação do solo e da água por fósforo em função de atividade suinícola em bacia hidrográfica de Santa Catarina. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 276-288, 2022.

COLOZZI FILHO, A.; BERTAGNOLI, B. G. P.; MENONCIN, A. S. D. S.; OLIVEIRA, J. F. D.; CAMPANA, I. O.; MACHINESKI, G. S.; BARBOSA, G. M. C. Terracing reduces arbuscular mycorrhizal fungi spore loss through surface runoff. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 67, e24230801, 2024.

MORAIS, V. P.; CRUZ, L. S.; LEAL, R. M. P. **Aspectos ambientais sobre o uso de dejetos animais na agricultura**. *In:* CASTRO, C. F. S.; FARNESE, F. S.; MARCIONILIO, S. M. L. O. Desenvolvimento agroquímico e sustentabilidade ambiental. IF Goiano, 2023. p. 91-103.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M. F. M.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Instituto Agronômico Do Paraná (IAPAR) - Circular 76, 39, 1992.

ROTH, C. H. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. **Catena**, v. 12, p. 79-85, 1985.

ZANELLA, J. R. D.; TOMAZONI, J. C.; AGUIAR, W. Determinação da erosão e transporte de sedimentos em bacia hidrográfica do Sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 16, n. 4, p. 2103-2118, 2023.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DEJETOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE COMO ESTRATÉGIA PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FERTILIZANTES MINERAIS NA PRODUÇÃO DE MILHO

Jéssica Caroline de Lima[1*], Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa[2], Eduardo Luiz Buligon[1], Felipe do Casal de Paula [1], Juliane Almeida Battisti[1]

Alunos de doutorado do PGEAGRI - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)[1]. Docente dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE[2] *jessicacarolinelima@outlook.com.

RESUMO

A crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis impulsiona a busca por alternativas para o reaproveitamento de resíduos agropecuários. Este estudo avaliou o uso dos dejetos da bovinocultura leiteira na adubação do milho (*Zea mays* L.), analisando seus efeitos na produtividade e na diagnose foliar. Os tratamentos (6) envolveram diferentes combinações de adubação mineral, organomineral e biofertilizante, com 4 repetições. Os resultados indicaram que não houve diferença estatística significativa ($p<0,05$) para a produtividade. Quanto à diagnose foliar, observou-se que todos os tratamentos proporcionaram teores adequados para N, P e K. Observou-se concentrações pouco abaixo do adequado para Ca, nos tratamentos 2, 4 e 5. Entretanto, nenhum dos tratamentos avaliados foi capaz de suprir a necessidade de Mg da cultura. Conclui-se que o uso dos dejetos da bovinocultura de leite na forma de biofertilizante e adubo organomineral representam estratégias viáveis para substituição parcial de fertilizantes minerais.

PALAVRAS-CHAVE: biofertilizante, adubo organomineral, diagnose foliar, produtividade.

INTRODUÇÃO

A demanda crescente por práticas agrícolas sustentáveis tem levado à procura por novas maneiras de reutilizar os resíduos gerados pela agropecuária. Dentro desse cenário, os resíduos da indústria de leite bovino se destacam como uma valiosa fonte de nutrientes que pode ser utilizada na agricultura, contribuindo para diminuir a dependência de fertilizantes minerais e a melhorar as propriedades do solo.

Os principais resíduos orgânicos provenientes da bovinocultura de leite são os dejetos, os quais podem ser separados em fração sólida e fração líquida por meio do processo de separação de frações (SF), visando melhor desempenho dos processos de estabilização. Neste cenário, a fração líquida pode ser destinada ao processo de digestão anaeróbia (DA), permitindo melhor desempenho do reator. Mendonça *et al.* (2021) relatam uma redução de 63,1% de sólidos totais e 43,7% de sólidos voláteis com a separação de frações dos dejetos de bovinos de leite antes do processo de DA. Os autores relatam que o uso de tamisador para realizar a SF precedendo o biodigestor garante a adoção de tempos de retenção hidráulica menores, maximizando a eficiência na remoção dos sólidos do substrato.

A fração sólida, retida na peneira, tem sido utilizada como material para compor a cama das vacas em sistema Compost Barn. Mota *et al.* (2017) relatam que o compost barn é um sistema de confinamento alternativo do conhecido sistema loose housing, onde os animais ficam soltos e podem caminhar livremente dentro do galpão, visando primeiramente melhorar o conforto e bem-estar dos animais e, consequentemente melhorar os índices produtividade do rebanho. O uso da fração sólida retida na peneira como cama neste sistema é pouco relatado na literatura, mas praticado por vários produtores de leite que destinam os dejetos para o processo de DA.

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura de grande relevância econômica e nutricional, sendo amplamente cultivado no Brasil. O seu desenvolvimento e produtividade estão intimamente ligados à quantidade de nutrientes disponíveis no solo, o que torna imprescindível a adoção de métodos que assegurem uma nutrição adequada. A análise foliar é uma ferramenta essencial para acompanhar o estado nutricional das plantas, possibilitando correções na adubação e aumentando o potencial produtivo.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo avaliar o aproveitamento dos resíduos da bovinocultura leiteira na cultura do milho, considerando seus efeitos na produtividade e na diagnose foliar. A utilização desses resíduos pode representar uma alternativa viável e sustentável para a agricultura, promovendo a reciclagem de nutrientes e a melhoria da eficiência produtiva do sistema agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no NEEA - Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (localizado em 24°54'00,7"S e 53°32'01,4"W), situado na Sede Alvorada, BR-467 km 13, Cascavel – PR, a uma altitude de 637 metros. Foi conduzido em um delineamento de blocos casualizados, composto por 6 blocos, cada um com 4 parcelas de 7x3 m (21 m² por parcela), totalizando 24 parcelas e uma área de 630 m². O solo da região é classificado como latossolo vermelho distroférrico.

O plantio do milho (*Zea mays L.*) ocorreu em fevereiro de 2024, e a colheita foi realizada em julho do mesmo ano. Foi realizada uma análise da fertilidade do solo da área experimental, e com base no Manual de Adubação e Calagem do Paraná, determinou-se a dose recomendada por hectare: 30 kg de nitrogênio para a adubação de semeadura, 100 kg de nitrogênio na cobertura, 120 kg de fósforo e 90 kg de potássio. Os tratamentos avaliados foram:

- T1: Adubação mineral (dose recomendada para a cultura do milho safrinha).
- T2: Biofertilizante (dose recomendada para o teor de N, com suplementação de P e K).
- T3: Organomineral (dose recomendada para o teor de P, com suplementação de N e K).
- T4: Organomineral no plantio e biofertilizante na cobertura (dose recomendada para o teor de N, com suplementação de P e K).
- T5: 80% da adubação organomineral adotada em T3.
- T6: Organomineral (dose recomendada para P, com suplementação de N e K).

O biofertilizante, juntamente com a cama de compost barn (fração orgânica do adubo organomineral), foram provenientes de uma propriedade rural localizada no município de Céu Azul - PR (25°02'43,1" S, 53°46'48,6" W). Após o processo de separação da fração, a parte líquida dos dejetos bovinos é direcionada a um biodigestor com tempo de retenção hidráulica de 15 dias, gerando o biofertilizante. Já a fração sólida é aproveitada como componente da cama de descanso nos barracões de alojamento das vacas, sendo trocada a cada 18 meses.

Para a diagnose foliar, as amostras foram coletadas conforme as diretrizes do Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes (EMBRAPA, 2009). Quando as plantas atingiram a fase de embonecamento, realizou-se o corte na folha 1/3 acima da bainha. Após a coleta, as folhas foram lavadas com água destilada, secas e acondicionadas em sacos de papel, encaminhadas para a estufa com circulação forçada de ar, a 40°C, por 24 horas. Após esse período, a nervura das folhas foi removida e o terço central de cada folha foi triturado em moinho de facas, tipo Willey.

Os teores de P e K foram determinados após a digestão das amostras em solução nítrico-perclórica (3:1), com aplicação de fonte externa de calor, seguida de diluição e filtração. O fósforo (P) foi detectado por meio da absorbância no comprimento de onda de 725 nm utilizando o espectrofotômetro UV-VIS. Já o potássio (K) foi quantificado em fotômetro de chama (MALAVOLTA *et al.,* 1997). A mesma solução nítrico-perclórica (3:1), empregada na determinação dos macronutrientes primários (P e K), foi utilizada também para quantificar os macronutrientes secundários Ca e Mg por meio de absorção atômica (EMBRAPA, 2009).

Para a determinação de N, foi adotada a metodologia de NTK (EMBRAPA, 2009), que envolve a digestão da amostra com H_2SO_4 e mistura digestora (100 g de K_2SO_4, 10 g de $CuSO_4$ e 1 g de Se). A titulação da amostra foi realizada com H_2SO_4 a 0,1N.

Estimou-se a produtividade do milho com auxílio das equações: Peso médio de grãos g kg*população de plantas por ha^{-1}; Peso umidade corrigida* peso de campo* [(100-Uc) /(100-Ud)].

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (anova) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade média estimada de milho (scs/ha^{-1}), em relação às diferentes fontes de adubação e os valores médios de N, P, K, Ca e Mg estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Produtividade em sacas/ha^{-1} e concentração média de nutrientes determinados na folha nos diferentes tratamentos.

Tratamento	Produtividade scs/ha^{-1}	N g/kg^{-1}	P	K	Ca	Mg
1	155,8 ±13,4	32,8 ±0,4	$3,2^{ab}$ ±0,2	25,8 ±1,5	2,5 ±0,5	0,6±0,2
2	159,9 ±15,9	36,7 ±1,5	$3,1^{b}$ ±0,3	27,2±1,5	1,9±0,1	0,5±0,1
3	164,9 ±13,7	38,0 ±2,6	$3,4^{ab}$ ±0,2	28,0±2,4	2,3±0,3	0,6±0,1
4	155,0 ±21,3	38,0 ±2,4	$3,3^{ab}$ ±0,2	26,0±1,0	2,1±0,1	0,5±0,1
5	160,7 ±13,5	37,8 ±2,5	$3,4^{ab}$ ±0,3	26,3±1,2	2,2±0,3	0,5±0,1
6	156,3 ±14,5	37,6 ±1,3	$3,7^{a}$ ±0,1	21,0±1,7	2,6±0,8	0,6±0,1
CV %	16,7	6	7,6	23,3	21,6	23,7

Nota: Os teores de referência para N, P, K, Ca e Mg para a cultura do milho (g kg^{-1}) são: 27,5- 35,0; 1,9- 4,0; 17,0- 35,0; 2,3-8,0; 1,5-5,0. SBCS-NEPAR (2017).

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que não houve diferença estatística significativa a 5% de probabilidade para as variáveis: produtividade, N, K, Ca e Mg. O uso de adubo organomineral e orgânico em substituição parcial ao adubo mineral não gerou perdas na produtividade do milho. Lima (2023) concluiu que o uso combinado de organomineral mais adubo mineral e o uso de biofertilizante mais adubo mineral apresentaram produtividades semelhantes ao uso exclusivo da adubação mineral.

De acordo com o Manual de Adubação e Calagem do Estado do Paraná, todos os tratamentos apresentam teores adequados para N, P e K. Para Ca, os tratamentos 2, 4 e 5, apresentaram concentrações pouco abaixo do adequado, entre 1,9 e 2,2. Entretanto, nenhum dos tratamentos avaliados foi capaz de suprir a necessidade de Mg da cultura. Neste sentido, mesmo para os tratamentos em que se utilizou adubo organomineral (3, 4 e 5) e biofertilizante (2, 4 e 6), nos quais o Mg está presente na composição (Mendonça *et al.,* 2016; Nogara *et al.,* 2022), foram aplicados em quantidade suficiente para suprir a demanda da cultura. Ainda assim não foram observados sintomas de deficiência nutricional na cultura do milho.

CONCLUSÕES

A substituição parcial de adubo mineral não afeta produtividade do milho de segunda safra.

As diferentes estratégias de adubação não causam deficiência dos macronutrientes primários N, P e K.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pela cessão das bolsas, ao PGEAGRI-UNIOESTE pela estrutura, a fazenda Iguaçu pela cessão dos resíduos utilizados.

BIBLIOGRAFIA

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

LIMA, J. C. **Desenvolvimento do milho sob diferentes fontes de adubação**. 2023. 63 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2023.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafós, 1997.

MENDONÇA, H. V.; OMETTO, J. P. H. B.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; OTENIO, M. H.; BORGES, C. A. V. Crescimento de cana-de-açúcar sob aplicação de biofertilizante da bovinocultura e ureia. Revista em **Agronegócio e Meio Ambiente,** Maringá. Disponível em: https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/4460. Acesso em: 06/03/2025.

MENDONÇA, H.V.; OTENIO, M.H.; PAULA, V.R. Digestão anaeróbia para produção de energia renovável. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá. v. 14, n. 3, p. 793-805, 2021.

MOTA, V.; TORRES CAMPOS, A.; ALVES DAMASCENO, F.; AUGUSTO DE MELO RESENDE, E.; PEDROSO DO AMARAL REZENDE, C.; RONALDO DE ABREU, L.; *et al*. **Confinamento para bovinos leiteiros: histórico e características.** Disponível em: https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/1320. Acesso em 07/03/2025.

NOGARA, K. F.; TAVARES. Q.; ZOPOLLATTO, M. **Utilização de cama de compost barn para adubação de lavouras**. Disponível em: https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/cama-de-compost-barn-para-adubacao-de-la. Acesso em 06/03/2025

SBCS/NEPAR - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná.** Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUTIVIDADE DE SOJA SOB A APLICAÇÃO DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS (DLS)

Mickael Peron[1]*, Max Sander Souto[2], Graciela Maiara Dalastra[2]
[1] Engenheiro Agrônomo *peron.mickael@gmail.com; [2] Professor(a) da Faculdade UNIGUAÇU.

RESUMO

Este estudo avaliou o dejeto líquido de suínos como fonte alternativa de nutrientes na adubação da soja, comparando sua eficiência à adubação mineral. Realizado no oeste do Paraná, o experimento avaliou os custos de adução e a produtividade da soja empregando adubação mineral exclusiva, DLS isolado, e ambos combinados. O uso exclusivo do DLS reduziu os custos de adubação em 75% e aumentou a produtividade da soja em 20%, em comparação à adubação mineral. Os resultados indicam que o DLS é uma alternativa eficaz, sustentável e economicamente viável para a adubação da soja.

PALAVRAS-CHAVE: fertilidade, suinocultura, *Glycine max*, adubação.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos exige práticas agrícolas mais sustentáveis, especialmente na cultura da soja, uma das mais relevantes mundialmente devido à sua importância econômica e nutricional. A adubação é essencial para garantir a produtividade agrícola, porém pode causar impactos ambientais, como contaminação do solo e dos recursos hídricos, além de representar custos elevados para os produtores (CIVITEREZA, 2021).

Paralelamente, a suinocultura tem grande importância no setor agropecuário, especialmente no Paraná, um dos maiores produtores e exportadores de carne suína do Brasil. Essa atividade gera grandes volumes de resíduos, e o manejo inadequado dos dejetos suínos é um problema ambiental significativo (OLIVEIRA, 1993). A destinação sustentável desses resíduos é um desafio constante para os produtores.

Diante desse cenário, o uso do dejeto líquido de suínos como alternativa ou complemento à adubação mineral surge como uma estratégia promissora para reduzir a dependência de fertilizantes químicos e promover a reciclagem de nutrientes na agricultura. Segundo Miyazawa e Barbosa (2015), a utilização do DLS pode não apenas minimizar os impactos ambientais da suinocultura, mas também melhorar a fertilidade do solo e contribuir para sistemas produtivos mais sustentáveis.

A partir dessa perspectiva, este estudo busca responder: “É economicamente viável utilizar o DLS como complemento ou substituto da adubação mineral na produção da soja?”. Para isso, foram realizados experimentos comparativos avaliando a eficiência agronômica e o impacto econômico desta prática.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma lavoura situada no município de São Miguel do Iguaçu, oeste do Paraná. A região possui um clima subtropical úmido, com uma altitude de 323 metros. A área experimental é caracterizada por um solo do tipo Latossolo vermelho, com uma textura muito argilosa e teor de argila próximo a 65%.

A lavoura é cultivada há mais de 20 anos sob o sistema de plantio direto, com sucessão de culturas, predominantemente soja, milho safrinha, aveia, trigo e braquiária. O solo foi devidamente corrigido com calagem após o último ciclo de cultivo, atendendo às necessidades apontadas na análise do solo.

Foi realizado durante a safra de soja 2023/2024, com o plantio da cultivar Pioneer® 96R10 IPRO ocorrendo em 12 de setembro de 2023 e a colheita das amostras em 18 de janeiro de 2024, totalizando 128 dias de ciclo.

A área de estudo foi subdividida em quatro parcelas experimentais, cada uma medindo 10 metros de comprimento por 4,5 metros de largura, totalizando 45 m² por parcela. Foram realizadas cinco repetições

para cada tratamento, utilizando um delineamento em blocos casualizados, o que resultou em 20 parcelas experimentais e uma área total de 900 m².

O solo, de textura muito argilosa, apresentou níveis classificados como 'muito altos' para fósforo e potássio. Para necessidade de adubação, baseou-se na produtividade esperada de 4 toneladas por hectare, sendo recomendado utilizar 165 kg/ha do adubo mineral na formulação 03-21-21. Para determinação da quantidade de DLS a ser aplicado utilizou-se o método de determinação da Massa Seca por Hidrômetro de Bouyoucos, conforme recomendação do IDR-Paraná, cuja aferição realizada com o hidrômetro indicou uma densidade de 20 kg/m³. Baseando-se pela quantidade de fósforo entregue pelo adubo mineral, foi necessário aplicar 27,7 m³/ha de DLS para atingir a mesma quantidade do nutriente.

Cada parcela recebeu um tratamento específico, variando o uso de dejetos líquidos de suínos (DLS) como substituto parcial ou total da adubação mineral (AM), conforme descrito a seguir:

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados: Testemunha, Adubo Mineral, DLS e combinação.

TRATAMENTO	Adubação	
	03.21.21 (kg/ha)	D.L.S (m³/ha)
Testemunha	0	0
Adubo Mineral	165	0
DLS	0	27,7
AM + DLS	165	27,7

O manejo cultural das parcelas experimentais seguiu o padrão utilizado no restante da lavoura, com exceção dos tratamentos de adubação diferenciados aplicados no momento do plantio. Foram coletadas amostras padronizadas em cada parcela, excluindo as áreas de bordadura, com o objetivo de mensurar fatores de produção da soja, tais como a população de plantas, o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, e o peso dos grãos permitindo assim calcular a produtividade.

Os dados foram tabelados e analisados estatisticamente no programa SISVAR, aplicando-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Por fim, a análise econômica do experimento considerou o levantamento dos custos de produção de cada sistema de adubação, aliado à respectiva produtividade. O custo da adubação mineral foi obtido através da verificação do custo de aquisição do insumo e a dose utilizada, já para o DLS, considerou-se o valor referente à sua aplicação, visto que este é resíduo da suinocultura, estando disponível na propriedade e sem valor comercial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim como mencionado no estudo da Embrapa (2002), que verificou redução do número de plantas com aumento na dose de adubo no sulco de plantio, e interferência no crescimento e desenvolvimento radicular das plantas, durante a condução deste experimento, observou-se uma variação no número de plantas por hectare dentre os tratamentos, assim como no seu desenvolvimento inicial, tanto da parte aérea como radicular, fato este que pode levar ao entendimento de que o adubo mineral no sulco de plantio teve influência negativa sobre o estabelecimento da cultura, visto que a população foi levemente reduzida nos dois tratamentos com seu uso. Ainda assim, não se pode confirmar que a presença do adubo mineral no sulco de plantio interferiu significativamente nos resultados de produtividade da cultura, visto que os valores obtidos para população de plantas não diferiram entre si, conforme apresentado na Tabela 2.

Através destes fatores de produção, foi possível calcular a produtividade da cultura em cada um dos cenários propostos, demonstrado na tabela 3.

Tabela 2. Análise estatística para valores de população de plantas por hectare, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de mil grãos (PMG) obtidos nos tratamentos.

TRATAMENTO	POPULAÇÃO (plantas/ha)	Nº de vagens por planta	Nº de grãos por vagem	PMG (gr)
Testemunha	180.000 a	69,3 b	2,57 a	163,6 b
Adubo Mineral	174.000 a	69,8 b	2,61 a	168,6 a
DLS	182.000 a	79,8 a	2,62 a	168,0 a
AM + DLS	176.000 a	82,6 a	2,64 a	169,6 a
Média	178.000	75,37	2,61	167,45
DMS	13.824	4,42	0,11	4,35
CV %	4,13	3,12	2,36	1,38

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Produtividade média de soja em diferentes tratamentos de adubação.

TRATAMENTO	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	PRODUTIVIDADE (sc/ha)
Testemunha	5.241,07 b	87,35 b
Adubo Mineral	5.342,36 b	89,04 b
DLS	6.381,08 a	106,35 a
AM + DLS	6.505,57 a	108,44 a
Média	5.867,77	97,79
DMS	309,62	6,19
CV %	2,81	2,81

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Estes resultados indicam que a substituição parcial ou total da adubação mineral pelo DLS resultou em um aumento significativo na produtividade. O tratamento com apenas adubação mineral apresentou produtividade média de 89,04 sc/ha, um aumento considerado não significativo em relação à testemunha. No entanto, o tratamento com apenas DLS apresentou um aumento substancial, com produtividade média de 106,35 sc/ha, superando a adubação mineral, estando de acordo com a conclusão do estudo de Sartor L. et al (2012), de que a aplicação de resíduos suínos na cultura da soja aumenta a produtividade.

O tratamento combinado, que utilizou tanto adubação mineral quanto DLS, obteve a maior produtividade, sugerindo que o uso de DLS como complemento à adubação mineral pode maximizar os resultados produtivos da cultura da soja, assim como o concluem Barth e Suyama (2013).

Os resultados do experimento indicam que o dejeto líquido de suínos aumenta a produtividade da soja, favorecendo seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. O uso de DLS, isolado ou combinado com adubação mineral, resulta em maior número de vagens por planta e grãos mais pesados, impactando positivamente a produtividade final. As análises de solo realizadas antes e após o ciclo da cultura indicaram tendências de acordo com o esperado, comprovando que a redução da adubação mineral pode ser realizada, desde que seja suplementada através da aplicação de DLS.

A análise das implicações econômicas da substituição da adubação mineral pelos dejetos líquidos de suínos indica que há vantagens significativas em termos de custo-benefício.

Tabela 5. Comparação de custos de adubação e produtividade da soja nos tratamentos.

TRATAMENTO	Custo (R$/ha)				PRODUTIVIDADE	
	03.21.21	D.L.S	TOTAL	% T. Custo	SC/HA	% T. Prod.
Testemunha	0	0	0	0	87,35	98
Adubo Mineral	854,54	0	854,54	100	89,04	100
DLS	0	221,6	221,6	25	106,35	120
AM + DLS	854,54	221,6	1076,1	125	108,43	122

*Valores referentes às porcentagens, foram estabelecidas considerando o tratamento 2 como base, ou seja, 100%.

Observa-se que o uso exclusivo de DLS reduziu os custos de adubação em 75% e proporcionou um aumento de 20% na produtividade da soja em relação à adubação mineral, demonstrando-se a alternativa economicamente mais viável.

CONCLUSÕES

A utilização do dejeto líquido de suínos como fonte alternativa de nutrientes para a soja é agronomicamente viável e traz benefícios econômicos e ambientais. A substituição parcial ou total da adubação mineral pelo DLS melhora a produtividade da soja, favorecendo seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, além de otimizar a eficiência produtiva. A substituição parcial ou total do adubo mineral pelo DLS reduz custos com insumos, amplia a flexibilidade financeira e diminui a dependência de fertilizantes sintéticos, promovendo uma agricultura mais sustentável.

BIBLIOGRAFIA

BARTH, G.; SUYAMA, J. T. (2013). Resposta de milho, trigo, aveia branca e soja à aplicação de dejeto líquido suíno (DLS) em diferentes níveis de adubação mineral. **Congresso brasileiro de ciência do solo.** Disponível em: https://www.eventosolos.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/2741.pdf

CIVITEREZA, G. (2021). **Os Impactos da Adubação Mineral no meio Ambiente.** Terra de Cultivo: Disponível em:https://www.terradecultivo.com.br/os-impactos-da-adubacao-mineral-no-meio-ambiente/

EMBRAPA. (2002). **Cloreto de Potássio na Linha de Semeadura Pode Causar Danos à Soja**. Comunicado Técnico 64, Embrapa Soja-Documentos. Dourados – MS. ISSN 1679-0472.

EMBRAPA. (2018). **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. (2015). **Dejeto líquido de suíno como fertilizante orgânico: método simplificado** (Boletim Técnico n:84 ed.). Londrina: IAPAR.

OLIVEIRA, P. A. (1993). **Produção e manejo de dejetos de suínos.** Embrapa suínos.

SARTOR, E. A. (2012). Effect of Swine Residue Rates on Corn, Common. **Revista Brasileira de Ciência do solo.** doi:10.1590/S0100-06832012000200035.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO SOB EFEITO RESIDUAL DE ADUBAÇÃO COM DEJETOS ANIMAIS E FERTILIZANTE MINERAL NA LINHA E A LANÇO

Antonio Augusto Bini[1*], Carlos Alberto Casali[2], Arian Martins Sartor[3], Matheus Bortolote[3], Vanessa Bresolin Viero[3]

[1]Bolsista de apoio técnico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV).
*antoniobini@alunos.utfpr.edu.br; [2]Professor de solos, UTFPR-DV; [3]Discente de Agronomia, UTFPR-DV.

RESUMO

No Paraná 31% dos custos de implantação de lavoura são com fertilizantes minerais. O estado é grande produtor bovino, suíno e avícola, onde os impactos causados pelos dejetos e resíduos animais ao ambiente são principalmente as altas cargas orgânicas e de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual da adubação com dejetos animais e fertilizante mineral sobre a produtividade do feijão safrinha. Os tratamentos foram dejeto bovino, dejeto suíno, cama de aves, adubação mineral na linha e a lanço. O delineamento foi de blocos ao acaso com 4 repetições. A avaliação de MSPA ocorreu em R1 e posteriormente produtividade e PMG em pré-colheita. O residual de dejeto bovino apresentou os melhores resultados nos parâmetros avaliados, produzindo 2163 kg ha^{-1} de MSPA, 1473 kg ha^{-1} de grãos e um PMG de 208 g. Mostrou-se viável a substituição de fontes químicas de adubação por fontes orgânicas.

PALAVRAS-CHAVE: plantio direto; matéria seca; adubação orgânica; adubos químicos; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O Paraná liderou em 2024 o ranking de produção de aves, sendo responsável por 35,1% da produção nacional, 2° lugar na produção suína, responsável por 21,9% do rebanho nacional, o 9° maior abatedor de bovinos e o 2° maior produtor de leite (SEAB, 2024). A produção intensiva desses animais leva a uma produção elevada de dejetos. De acordo com Tasca *et al*., (2021) uma vaca em lactação pode produzir até 56 L dia^{-1} de dejetos, enquanto Filho *et al*. (2015) observaram que um suíno pode produzir até 6,0 L dia^{-1} de dejetos. No âmbito de resíduos de aves, segundo Yamane *et al*., (2023) os resíduos orgânicos gerados por um aviário variam em torno de 31,6 a 78,5 T ano^{-1}.

Os impactos causados pelos dejetos animais ao ambiente são principalmente as altas cargas orgânicas e de nutrientes, o que justifica a importância de dar um destino correto aos resíduos provindos da produção animal dominante na região, podendo beneficiar a produção agrícola tanto nas questões ambientais quanto financeiras uma vez que o custo para sua aquisição pode ser até mesmo zerado em algumas condições

No Paraná 31% dos custos de implantação de lavoura são com fertilizantes minerais, os quais por sua vez tiverem, em 2021, um aumento no preço por tonelada de 125% em relação ao ano anterior e sua demanda tem aumentado cada vez mais com o avanço da tecnologia genética (DERAL, 2022). Buscando uma alternativa para substituir parte da adubação mineral em cultivos safrinha, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual da adubação com dejetos animais e fertilizante mineral na linha e a lanço sobre a produtividade do feijão em período de safrinha no Sudoeste do PR.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em maio de 2019, na UTFPR campus Dois Vizinhos, sobre um Nitossolo Vermelho manejado sob sistema de plantio direto (SPD) consolidado há 20 anos. Foram instaladas 24 parcelas de 2,0 x 6,4 metros cercadas com calhas de aço galvanizado, totalizando 12,6 m^2 cada uma. Os tratamentos foram a) sem adubação; b) fertilizante mineral na linha (466,66 kg ha^{-1}); c) fertilizante mineral a lanço (466,66 kg ha^{-1}); d) cama de aves (3,8 T ha^{-1}); e) dejeto líquido bovino (80 m^3 ha^{-1}) e f) dejeto líquido

suíno (60 m^3 ha^{-1}), onde calculou-se de acordo com análise de solo para adicionar 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 70 kg ha^{-1} de K_2O. Condução em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições.

Até o presente estudo os tratamentos foram aplicados manualmente e em superfície para 7 cultivos agrícolas, sendo que em setembro de 2023 com esses tratamentos foi implantada a cultura do milho, a qual foi colhida em fevereiro de 2024. Posteriormente, com o efeito residual da adubação, implantou-se a cultura do feijão, IPR sabiá, com 12 plantas por metro linear.

No pleno florescimento da cultura foi realizado avaliação de matéria seca da parte aérea (MSPA) coletando-se 4 metros lineares por parcela. Quando a cultura atingiu a maturação fisiológica, foi avaliada a produtividade de grãos com a coleta de 8 metros lineares por parcela e o peso de mil grãos (PMG). Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de separação de médias por Skot Knott com software SASM-Agri®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de MSPA não diferiu entre as diferentes fontes e formas de adubação orgânica e mineral, mas todas elas diferiram da ausência de adubação (Tabela 1). Isso mostra que o residual da adubação orgânica consegue promover adequado crescimento vegetativo da cultura do feijão, viabilizando a substituição de fontes minerais de fertilizantes por fontes orgânicas, diminuindo o custo de produção. O mesmo foi observado por Guareschi *et al*., (2012) onde a substituição de fertilizantes minerais pela cama de frango trouxe resultados satisfatórios na produção de MSPA.

Tabela 1. Parâmetros de rendimento da cultura do feijão sob efeito residual da adubação mineral na linha, a lanço e com diferentes dejetos de animais.

Tratamentos	MSPA	Prod. grãos	PMG
	---------- kg ha^{-1}----------		------- g -------
Sem adubação	1288 b	1140 c	178 b
Adubação mineral na linha	1996 a	1303 b	208 a
Adubação mineral a lanço	1893 a	1353 b	202 a
Cama de aves	1850 a	1553 a	193 b
Dejeto bovino	2163 a	1473 a	208 a
Dejeto suíno	1793 a	1218 c	187 b
CV (%)	13,56	7,37	4,62

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si para o teste de scott knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. Matéria seca da parte aérea (MSPA); Peso de mil grãos (PMG).

Para PMG foi identificado que o residual da adubação mineral na linha e a lanço e da adubação com dejetos bovinos proporcionaram melhores resultados. Souza *et al*., (2014) obteve melhor incremento no peso de mil grãos utilizando a cama de aves e esterco suíno, onde no presente trabalho mostram-se como não eficientes não se diferindo da testemunha para PMG.

A produtividade de grãos de feijão foi maior com o residual da adubação com cama de aves e dejeto bovino, seguido pela adubação mineral na linha e a lanço, que não diferiram entre si (Tabela 1). Isso mostra que dejetos de animais com maior teor de matéria seca podem ter maior efeito residual na adubação de

cultivos. Ao mesmo tempo, a adubação com fertilizantes minerais solúveis pode não deixar residual de nutrientes suficiente para garantir a produtividade de cultivos, conforme a disponibilidade do solo.

Por outro lado, a adubação com dejeto suíno e a ausência de adubação obtiveram os piores resultados e não diferiram entre si. Devido ao baixo teor de potássio, o residual da adubação com dejetos suínos comprometeu a produtividade do feijão, o que mostra também pelo baixo PMG que depende da nutrição com K para o enchimento de grãos. Cruz (2019), utilizando volumes inferiores de dejeto suíno obteve maior produtividade da cultura e o tratamento teve mesmo efeito comparado a cama de frango e adubação mineral, o que foi divergente com o observado neste trabalho. Características de solo ou até mesmo da composição das fontes orgânicas de adubo podem estar envolvidas nestes parâmetros de produtividade.

CONCLUSÕES

A adubação com cama de aves e dejetos bovinos promove maior efeito residual de nutrientes permitindo uma maior produtividade de feijão, mostrando que esses dejetos de animais são uma alternativa viável para diminuição do custo de produção sem que ocorra perdas de produtividade.

O efeito residual da adubação com dejetos de suínos não é suficiente para garantir a produtividade do feijão cultivado em safrinha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fundação Araucária e a FAEP/SENAR pelo financiamento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

Com recordes, Paraná lidera aumento na produção de frangos e suínos em 2024**. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento**, 5 set. 2024. Disponível em: https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Com-recordes-Parana-lidera-aumento-na-producao-de-frangos-e-suinos-em-2024#:~:text=Com%20recordes%2C%20Paran%C3%A1%20lidera%20aumento%20na%20produ%C3%A7%C3%A3o,participa%C3%A7%C3%A3o%20neste%20tipo%20de%20prote%C3%ADna%20no%20Pa%C3%ADs. Acesso em: 8 mar. 2025

CRUZ, N. F. F. S. **Produtividade de grãos e acúmulo de nutrientes em solo adubado com dejetos animais durante nove safras**. 2019. 55 F. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Cascavel, 2019.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. Nota Técnica n° 17/2022**. Impactos do custo de fertilizantes na rentabilidade da safra agrícola**, Curitiba, 16 mar. 2022. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-03/17_nota_tecnica_fertilizantes_salatiel_sug_vmc.pdf. Acesso em: 8 mar. 2025.

FILHO, M. G. *et al*. Análise do consumo de água e do volume de dejetos na criação de suínos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 64-69, dezembro 2015. Disponível em: https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2876/1350. Acesso em: 8 mar. 2025.

GUARESCHI, R. F. *et al*. Adubação com cama de frango e esterco bovino na produtividade de feijão azuki (*vigna angularis*). **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 19, p 29-35, 2013. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/1654/1373. Acesso em: 8 mar. 2025.

SOUZA, L.C.D. *et al*. Utilização de dejetos e resíduos de origem animal como alternativa na

adubação de feijão irrigado. PUBVET, Londrina, V. 8, N. 4, Ed. 253, Art. 1674, fevereiro, 2014.

TASCA, M. C. B. *et al*. Manejo dos dejetos na bovinocultura de leite na fazenda unicesumar. *In:* **ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA DA UNICESUMAR**, 7, 2021. Disponível em:

https://www.unicesumar.edu.br/anais-epcc-2021/wp-content/uploads/sites/236/2021/11/607.pdf. Acesso em: 8 mar. 2025.

YAMANE, L. H.; CERQUEIRA, A. F.; SIMAN, R. R. Quantificação dos dejetos gerados nas unidades produtivas de avicultura do Espírito Santo. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 2023.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA SOB ADUBAÇÃO MINERAL NA LINHA, A LANÇO E COM DIFERENTES DEJETOS DE ANIMAIS

Vanessa Bresolin Viero[1*], Carlos Alberto Casali[2], Alan Ribeiro da Silva [3], Antonio Augusto Bini[3], Matheus Bortolote[3]

[1]Estudante de agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV), E-mail *vanessaviero@alunos.utfpr.edu.br. Professor de de solos na UTFPR-DV; [2]Estudante de agronomia na UTFPR-DV[3]

RESUMO

O estudo avaliou-se atributos químicos do solo e produtividade da soja com adubação mineral na linha e a lanço, e com diferentes dejetos de animais. O experimento foi implantado em junho/2019 na UTFPR-DV, Sudoeste do PR, num Nitossolo Vermelho há 20 anos sob Sistema Plantio Direto (SPD). Os tratamentos foram: sem adubação; fertilizante mineral na linha; fertilizante mineral a lanço; cama de aves; dejeto líquido bovino; e dejeto líquido suínos; delineados em blocos ao acaso com 4 repetições. Em novembro/2022, foi implantada soja e avaliou-se: altura das plantas, matéria seca da parte aérea (MSPA), componentes de rendimento e produtividade de grãos. Após, o solo foi amostrado em 0-10 cm e analisado os atributos químicos. A adubação com dejetos aumenta a produtividade de grãos e MSPA comparadas com adubação mineral, aumentando teores de C, P e K do solo. A adubação mineral na linha aumenta produtividade comparada com adubação a lanço.

PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica; fertilidade do solo; resíduo agropecuário.

INTRODUÇÃO

O Sudoeste do Paraná se destaca na produção animal, com Dois Vizinhos-PR como maior produtor de frango do Brasil, o 17º em vacas ordenhadas no PR e 36º em cabeças de suínos (IBGE, 2023). Contudo, a produção intensiva desses animais gera grande volume de dejetos. Na bovinocultura leiteira, os dejetos líquidos variam de 9% a 12% do PV do rebanho por dia (CAMPOS *et al*., 2002). Estima-se em 450 milhões t/ano a produção de resíduos na criação de aves e suínos no Brasil, que ocorrem concentradas pela distribuição das criações (IPEA, 2012).

Os dejetos podem causar impactos ambientais devido a concentração de nutrientes e matéria orgânica. Seu manejo inadequado pode poluir águas superficiais e subterrâneas e emitir gases de efeito estufa (MACHADO, 2011). Contudo esses nutrientes também podem nutrir cultivos agrícolas, desde que aplicados com critérios técnicos. Como vantagens, o uso de resíduos orgânicos na agricultura reduz os custos na produção e pode substituir os adubos minerais (WOODARD; SOLLENBERGER, 2011).

Assim, é pertinente a realização de trabalhos que dimensionem os efeitos do uso dos dejetos de animais, principalmente por longa duração em regiões com grande geração de resíduos agropecuários, como o Sudoeste do PR. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos químicos do solo e a produtividade da soja sob adubação mineral na linha e a lanço e com diferentes dejetos de animais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em 05/2019 na UTFPR-DV sobre um Nitossolo Vermelho há 20 anos sob SPD. Foram implantados os tratamentos que consistiram em fontes minerais e orgânicas de nutrientes, conforme: a) Sem adubação (controle), b) mineral na linha (400 kg ha^{-1} da fórmula 02-20-18), c) mineral a lanço (400 kg ha^{-1} da fórmula 02-20-18), d) cama de aves (63,5 m^3 ha^{-1}), e), dejeto bovino (79,4 m^3 ha^{-1}) e f) dejeto suíno (3,2 t ha^{-1}). O delineamento foi de blocos ao acaso com 4 repetições, totalizando 24 parcelas de 12,6m² e o solo foi avaliado quanto aos atributos químicos antes do início do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm antes da implantação do experimento.

Tratamento	COT	pH-$CaCl_2$	pH-SMP	P	K	Al^{3+}	Ca	Mg	CTC	SB	V
	%			--- mg kg^{-1} ---		---------- cmolc kg^{-1} ----------					%
Sem adubo	2,3^{ns}	5,3^{ns}	6,9^{ns}	14 b	191^{ns}	0,1^{ns}	10,1^{ns}	2,7 b	16 a	13 b	82 b
Min. Linha	2,3	5,4	6,8	19 b	198	0,1	9,7	2,6 b	16 b	13 b	83 b
Min. Lanço	2,3	5,4	6,7	21 b	203	0,1	10,1	2,6 b	16 b	13 b	82 b
Cama aves	2,4	5,4	6,7	20 b	228	0,1	10,9	3,7 a	18 b	16 a	87 a
Dej. bovino	2,4	5,4	6,7	19 b	173	0,1	10,4	2,9 b	17 b	14 b	83 b
Dej. suíno	2,4	5,4	6,7	28 a	201	0,1	9,6	2,5 b	16 b	13 b	82 b
CV %	9	2	2	16	21	29	12	12	5	9	3

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (p=0,05) para o teste de Scott-Knott.

Desde 2019, os tratamentos foram aplicados antes da implantação de 6 cultivos comerciais. Em 11/2022 foi semeada a cultura da soja (Brasmax Zeus - 12 pl/m). As doses de fertilizante mineral e dos dejetos de animais foram definidas a partir do teor de P do solo e dos dejetos, conforme recomendação do manual de calagem e adubação do PR (NEPAR, 2019), que seria de 80 kg de P_2O_5 e 70 kg de K_2O.

A altura de 10 plantas e MSPA foram avaliadas em pleno florescimento da cultura, sendo a MSPA coletada em 4m/linear por parcela. Os componentes de rendimento foram avaliados em cinco plantas/parcela sendo mensurado o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de mil grãos (MMG). A produtividade de grãos foi medida em 8m/linear de soja.

Após a colheita, o solo foi amostrado na camada de 0-10 cm, secado e analisado os parâmetros de acidez, P e K disponíveis, e os teores de Ca, Mg e Al, conforme Tedesco *et al* (1995). Foram calculados a soma de bases (SB), a saturação por bases (V%) e a saturação de alumínio (Al%). O C orgânico do solo foi avaliado em auto-analisador de carbono. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativo, aplicou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (software SasmAgri®).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As adubações com dejetos e fertilizante mineral na linha aumentou a altura da soja (AP), comparada à adubação mineral a lanço e ausência de adubação (Tabela 2). O NVP foi maior com as adubações orgânicas, principalmente com dejetos líquidos, enquanto a adubação mineral na linha não se diferenciou da cama de aves. Já a adubação mineral à lanço novamente não diferiu da ausência da adubação (tabela 2). A MMG foi maior com uso de cama de aves, enquanto com dejetos líquidos foram estatisticamente iguais aos fertilizantes minerais. Por outro lado, o NGV não diferiu entre os tratamentos, o que pode estar relacionado a cultivar, que é o que interfere nesse componente de rendimento.

Tabela 2 - Altura (AP), vagens por planta (NVP), grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de MSPA e grãos de soja sob adubação mineral na linha, a lanço e dejetos de animais.

Tratamento	AP (cm)	NVP	NGPV	MMG (g)	MSPA (kg ha^{-1})	Prod. Grãos (kg ha^{-1})
Sem adubação	83 b	72 d	2,5 ^{ns}	170 c	3349 a	4560 c
Mineral linha	91 a	99 c	2,7	206 b	4682 c	5700 b
Mineral lanço	82 b	79 d	2,6	189 b	4707 c	5100 c
Cama aves	97 a	106 c	2,5	239 a	5559 b	6960 a
Dejeto bovino	90 a	136 a	2,5	201 b	6234 a	6360 a
Dejeto suíno	90 a	119 b	2,5	200 b	5438 b	6420 a
CV (%)	5,6	7,4	5,5	5,7	5,4	7,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (p=0,05) para o teste de Scott-Knott.

A adubação com dejetos aumentou a MSPA, destacando o dejeto bovino que diferiu do suíno e cama de aves, sendo comparados com adubação mineral na linha ou a lanço (tabela 2). A maior produtividade de MSPA com dejetos de animais pode estar relacionada à adição de N, que não ocorre na adubação mineral, além da melhora nos atributos químicos e no aumento da MOS (tabela 4), sendo o principal fornecedor de N para as plantas.

No experimento a média de produtividade foi superior à média nacional na safra 2022/23, de 3.500 kg ha^{-1} (CONAB, 2025). A produtividade de grãos de soja seguiu o comportamento da maioria das variáveis analisadas, sendo maior com o uso de dejetos quando comparado a adubação mineral na linha ou a lanço, independente da origem do dejeto (tabela 2). Cruz (2019) testou doses de cama de aves e DLS durante nove safras e verificou que a produtividade de grãos acumulada foi maior com o uso de dejetos.

A adubação mineral no sulco de plantio aumentou a produtividade da soja comparada à adubação a lanço (tabela 2), contrariando os dados de Peter *et al* (2016) que não encontraram diferença entre modos de aplicação. Esses resultados comprovam que a aplicação de fertilizantes deve ser feita de forma correta, principalmente dos nutrientes P e K que possuem menor mobilidade no solo, desta forma a incorporação no sulco de plantio aumentou 11,8% a produtividade da soja.

O maior teor de P disponível no solo foi com dejetos líquidos de suíno e bovino (tabela 3), sendo em 50% para DLB e 46% para DLS comparados à cama de aves. Esses resultados corroboram Cruz (2019), que observou disponibilidade P no solo 75% mais altos com DLS comparado a cama de aves. Blanko (2015) também encontrou maior teor de P no solo com aplicação de DLS comparado a cama de aves. Já os teores de P no solo foram iguais entre a adubação mineral na linha e a lanço e ambas foram superiores ao tratamento sem adubação (tabela 3).

Tabela 3. Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm após 6 aplicações de adubação mineral na linha, à lanço e com diferentes dejetos de animais.

Tratamento	P	K	Ca	Mg	SB
	---------- mg kg^{-1} ----------		---------- $cmol_c$ dm^3 ----------		
Sem adubação	14 c	92 b	8 b	2,4 d	11 b
Mineral linha	25 b	189 a	8 b	2,3 d	12 b
Mineral lanço	28 b	170 a	8 b	2,1 d	11 b
Cama aves	30 b	203 a	11 a	4,2 a	15 a
Dejeto bovino	59 a	178 a	10 a	3,3 b	14 a
Dejeto suíno	56 a	105 b	9 b	2,8 c	12 b
CV %	22,0	10,0	10,4	9,7	9,9

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (p=0,05) para o teste de Scott-Knott.

O maior teor de Ca, Mg e SB no solo foi com adubação com cama de aves e DLB, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si (tabela 3). Na acidez do solo, a cama de aves aumentou o pH-$CaCl_2$ e pH-SMP, enquanto diminuiu o teor de Al^{3+} e H+Al, comparado aos outros tratamentos (Tabela 4). O uso de óxidos de Ca e Mg na cama de aves para o controle de zoonoses e doenças gera OH- quando dissolvido no solo, postergando a necessidade de calagem. Esses dados explicam o maior V% com aplicação de cama de aves, que melhora a disponibilidade de nutrientes e o que justifica a elevada produtividade de grãos de soja nesse tratamento (tabela 4). O pH-$CaCl_2$ e teor de Al^{3+} não diferiram entre os DLS, DLB, adubação mineral na linha e a lanço e sem adubação, enquanto o pH-SMP aumentou com o uso dos dejetos. A ausência de adubação e adubação mineral na linha e à lanço foram iguais, indicando que a forma de aplicação não interfere na acidez do solo.

Tabela 4. Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm após seis adubações mineral na linha, a lanço e com dejetos de animais.

Tratamento	COT	MOS	pH-$CaCl_2$	pH-SMP	Al^{3+}	H + Al	CTC	V
	----------%----------				---------- $cmol_c\ dm^3$ ---------			%
Sem adubação	2,1 c	3,6 c	5,1 b	6,2 b	0,1 a	4,2 b	15 b	72 b
Mineral linha	2,2 c	3,8 c	5,1 b	6,3 b	0,2 a	4,1 b	16 b	73 b
Mineral lanço	2,2 c	3,7 c	4,9 b	6,0 c	0,2 a	5,1 a	16 b	68 b
Cama aves	2,5 b	4,3 b	5,9 a	6,6 a	0,0 b	3,3 c	18 a	82 a
Dejeto bovino	2,8 a	4,9 a	5,0 b	6,0 c	0,1 a	5,0 a	18 a	72 b
Dejeto suíno	2,6 b	4,6 b	4,9 b	6,0 c	0,2 a	5,1 a	17 b	71 b
CV %	4,7	4,7	3,5	2,3	28,5	11,2	6,9	4,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (p=0,05) para o teste de Scott-Knott.

CONCLUSÕES

A adubação da soja com dejetos de animais aumenta a produtividade de MSPA e de grãos, o teor de C e a disponibilidade de P e K no solo, comparado a adubação mineral na linha e a lanço. Além disso, a adubação com cama de aves diminui a acidez do solo, dispensando a aplicação de calcário. A adubação mineral na linha de semeadura aumenta a produtividade de grãos de soja comparado a adubação à lanço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Araucária e FAEP-SENAR pelo financiamento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

BLANCO, F. F. *et al*. Efeito da adição de dejetos líquidos de suínos na disponibilidade de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 387-396, 2015.

CAMPOS, A. T. *et al*. Geração e características dos dejetos de bovinos leiteiros em sistema de produção intensivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 337-342, 2002.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2022/23**, v. 10, n. 8, 2025. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 08 mar. 2025.

CRUZ, J. C. *et al*. Uso de cama de aves e dejeto líquido de suínos na produtividade da soja por nove safras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. e01794, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2022**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 08 marc. 2025.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Estudo sobre a geração e destino dos dejetos animais no Brasil**. Brasília, DF: IPEA, 2012.

MACHADO, P. L. O uso de dejetos animais na agricultura e seus impactos ambientais. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

NEPAR. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS - Núcleo Estadual do Paraná, 2019.

PETER, L. M. *et al*. Modos de aplicação de fertilizantes na cultura da soja e seus efeitos na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, n. 5, p. e015048, 2016.

TEDESCO, M. J. *et al*. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

WOODARD, K. R.; SOLLENBERGER, L. E. Nutrient cycling in pastures: implications for sustainable animal production systems. **Grassland Science**, Oxford, v. 57, n. 4, p. 203–211, 2011.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERDAS DE ÁGUA, SEDIMENTOS E FÓSFORO VIA ESCOAMENTO SUPERFICIALL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM 17 ANOS DE APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO

Fátima Motelewski[1*], Paloma Estefane Santana Ferreira [2], Luciane Lemos do Prado[3], Nerilde Favaretto[3], Gabriel Barth[5]

[1] Estudante de Agronomia da Universidade Federal do Paraná, motelewskifatima@ufpr.br; [2] Mestranda em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná; [3] Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná; [4]Professora Doutora no Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná; [5]Pesquisador, Coordenador de Pesquisa, Fundação ABC.

RESUMO

O presente estudo analisa a perda de água, sedimentos e fósforo (P), resultantes do escoamento superficial, provocados pela ocorrência de chuva natural em experimento com aplicação de dejeto líquido bovino (DLB) em sistema plantio direto. O experimento contém quatro tratamentos com doses de DLB (0, 60, 120 e 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, aplicadas consecutivamente durante 17 anos). O escoamento superficial foi coletado em um recipiente após cada evento de precipitação com geração de escoamento em pelo menos uma parcela experimental, no período de 2,5 anos. De modo geral, os resultados dos parâmetros analisados: perda de água, concentração média ponderada e perdas de sedimentos, P total, P dissolvido e P particulado, e média aritmética de pH, condutividade elétrica e turbidez; não indicaram efeito da aplicação de DLB, exceto para P total e particulado, onde observa-se um aumento da concentração com aplicação de DLB.

PALAVRAS-CHAVE: eutrofização; selamento superficial; sistema aquático.

INTRODUÇÃO

O Paraná é referência na cadeia produtiva de bovinocultura leiteira, se destacando como o segundo maior produtor do país, com 4,4 milhões de litros produzidos em 2018, sendo que uma expressiva produção se concentra na região dos Campos Gerais, nos municípios de Castro e Carambeí (SEAB, 2019).

O sistema de produção na sua maior parte se encontra confinado ou em semi-confinado, gerando grande volume de dejeto líquido bovino (DLB), que por sua vez é aplicado em áreas agricultáveis, com o intuito de descarte e principalmente para melhorar a fertilidade do solo com adição de nutrientes e matéria orgânica, reduzindo custos com insumos químicos. No entanto, quando não são seguidos critérios adequados de aplicação, pode resultar no excesso de nutrientes, principalmente o fósforo (P), que juntamente ao nitrogênio (N) podem ocasionar a eutrofização dos corpos d'água em função dos elementos químicos presentes no dejeto serem transportados aos corpos d'água, comprometendo a qualidade do sistema aquático pela proliferação de algas e plantas aquáticas, onde a demanda por oxigênio se eleva.

O objetivo foi avaliar as perdas de água, sedimentos e fósforo em diferentes frações, via escoamento superficial, no período de 2,5 anos, em sistema plantio direto, sob chuva natural e com 17 anos de aplicação de DLB em um solo franco-argilo arenoso de Ponta-Grossa (PR).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em 2005 e está situado na Estação Experimental da Fundação ABC, Ponta Grossa, Paraná, Brasil, com as seguintes Coordenadas: 25°00'35''S e 50°09'16''W e altitude 890m. O clima é classificado como subtropical úmido, do tipo Cfb, de acordo com a classificação de Köppen. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura franco-argilo arenosa e com declividade 13% (Favaretto, 2021).

Os tratamentos seguem quatro doses de DLB, sendo (0, 60, 120, 180 m^3 ha^{-1} ano^{-1}), alocados em 4 blocos casualizados, totalizando 16 parcelas experimentais, com (9 m de comprimento por 3,5m de largura).

O dejeto foi aplicado em duas etapas, metade no plantio das culturas de inverno (trigo e aveia) e metade nas culturas de verão (milho e soja) (Silveira, 2011).

As parcelas, delimitadas por uma chapa de zinco galvanizado com 5 cm acima da superfície do solo e 5 cm abaixo, com extremidade em formato da letra "V". Nas extremidades de cada parcela uma calha canaliza o escoamento até um galão de plástico com capacidade de 60 L, onde a mesmas estão posicionadas e recebem o volume escoado. Após cada chuva com geração de escoamento em pelo menos em uma parcela, o volume foi medido, e posteriormente foram separadas garrafas de plástico contendo ao menos 500 mL, identificadas com informações de número da parcela e a data do escoamento em que as coletas foram conduzidas entre os anos de 2022 a 2024, abrangendo um período de amostragem de 2,5 anos, distribuídas em 9 eventos de chuva.

A concentração de sedimentos foi obtida através do peso final (pós-estufa) subtraindo o peso inicial (pré-estufa) de uma alíquota representativa de escoamento superficial. A perda de sedimento calculada a partir da concentração de sedimentos e volume de escoamento.

A determinação da concentração de e P em diferentes frações, P total (P_T) pelo método USEPA 3015a de digestão em microondas, em amostra não filtrada (USEPA, 2007). Fósforo dissolvido (P_D) pelo método do ácido ascórbico (APHA, 2005) em amostra filtrada em filtro de 0,45 micrometros. As leituras de ambas as frações foram em UV-vis com comprimento de onda de 880 nm. O fósforo particulado (P_P) foi obtido pela diferença entre o P_T e o P_D. A concentração média ponderada do período foi calculada bem como a perda anual, considerando a concentração e volume de escoamento.

Os dados de pH e condutividade elétrica foram obtidos com a sonda-multiparâmetro e de turbidez com o turbidímetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, com base nos parâmetros analisados: concentração média ponderada de sedimentos e fósforo (Tabela 1); perda de água, sedimento e fósforo (Tabela 2); e pH, turbidez, e condutividade elétrica (Tabela 3), não se observa efeito da aplicação de DLB; exceto para concentração média ponderada de P total e P particulado (Tabela 1) e perda de fósforo particulado (Tabela 2) onde ocorre aumento em função do DLB. Segundo Favaretto *et al*. (2021) esperava-se um aumento na concentração e uma diminuição das perdas de nutrientes por escoamento superficial com a aplicação de DLB. O aumento de concentração é esperado devido a adição de nutrientes com o DLB e a diminuição da perda pela redução do escoamento superficial e consequentemente da perda de sedimento. As melhorias da qualidade do solo, e dentre eles dos atributos físicos com aplicação de DLB, reduziria o escoamento superficial, e consequentemente, o menor volume escoado poderia compensar as maiores concentrações de nutrientes, resultando em menores perdas, porém isso não foi observado no presente período de monitoramento, 20022 a 2024, com apenas 9 eventos de escoamento, provenientes, de modo geral, de eventos de baixa precipitação.

CONCLUSÕES

De modo geral, os resultados dos parâmetros analisados: água, sedimentos, P total, P dissolvido e P particulado, pH, condutividade elétrica e turbidez; não indicaram efeito da aplicação de DLB, exceto para P total e particulado, onde observa-se um aumento da concentração com aplicação de DLB. Cabe ressaltar que o experimento continua sendo conduzido para obtenção de resultados mais robustos, considerando que 2,5 anos de avaliação com reduzido número de eventos de escoamento superficial provenientes de eventos de precipitação de baixa intensidade, pode gerar dúvidas sobre a consistência das conclusões.

Tabela 1. Concentração média ponderada de sedimentos (g L^{-1}) e fósforo (P) total (P_T,) dissolvido (P_D) e particulado (P_P) (mg L^{-1}) via escoamento superficial em sistema plantio direto, com 17 anos de aplicação de dejeto líquido bovino (DLB), no período de 2022 a 2024.

	DLB (m^3 ha^{-1} ano^{-1})			
	0	60	120	180
Sedimentos (ns) (g L^{-1})	0,28	0,40	0,52	0,61
Fósforo (mg L^{-1})				
P_T*	1,90b	3,30ab	4,88a	3,42ab
P_D (ns)	1,53	1,56	2,67	1,56
P_P*	1,21b	1,96b	3,95a	1,45b

*Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, 10% de probabilidade.
ns = não significativo estatisticamente

Tabela 2. Perda de água (mm ano^{-1}), sedimentos (kg ha^{-1} ano^{-1}) e fósforo (P) total (P_T,) dissolvido (P_D) e particulado (P_P) (g ha^{-1} ano^{-1}) via escoamento superficial em sistema plantio direto, com 17 anos de aplicação de dejeto líquido bovino (DLB), no período de 2022 a 2024.

	DLB (m^3 ha^{-1} ano^{-1})			
	0	60	120	180
Água (ns) (mm ano^{-1})	1,69	2,08	1,52	1,07
Sedimento (ns) (kg ha^{-1} ano^{-1})	2,7	6,27	9,80	4,46
Fósforo (g ha^{-1} ano^{-1})				
P_T (ns)	45,60	62,21	107,94	47,69
P_D (ns)	38,91	25,46	73,03	17,94
P_P*	28,26 b	37,22b	88,38a	17,27b

*Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, 10% de probabilidade.
ns = não significativo estatisticamente

Tabela 3. Média aritmética de pH, turbidez (NTU) e condutividade elétrica (µs cm^{-1}) no escoamento superficial em sistema plantio direto, com 17 anos de aplicação de dejeto líquido bovino (DLB) no período de 2022 a 2024.

	DLB (m^3 ha^{-1} ano^{-1})			
	0	60	120	180
pH (ns)	6,8	6,8	7,0	6,7
Turbidez (NTU) (ns)	148	133	175	205
Condutividade (µs cm^{-1}) (ns)	257	217	295	246

ns = não significativo estatisticamente

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, Capes e Fundação Araucária pela concessão de bolsas e a Fundação-ABC pela condução e apoio de campo nos experimentos.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION *et al*. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association., 1917.

CELANTE, S.L. **Fracionamento de fósforo e avaliação do risco ambiental em solos com aplicação de dejeto líquido bovino a curto e a longo prazo.** 2021. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Paraná, Pós-graduação em Ciência do Solo, Curitiba,2021.

ELEMENT, C. A. S. **Method 3051A microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. **Z. Für Anal. Chem**, v. 111, p. 362-366, 2007.

FAVARETTO, N.; CHEROBIM, V. F.; SILVEIRA, F. M.; TIMOFIECSYK, A.; SKALITZ, R.; BARTH, G.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M. 2022. **Can application of liquid dairy manure onto no-tillage oxisols reduce runoff, sediment, phosphorus, and nitrogen losses over 9 years of natural rainfall?** doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115406.

SEAB. SECREATRIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Paraná é o segundo maior produtor de leite do Brasil, confirma IBGE.** Curitiba, 2019. Disponível em: https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Parana-e-o-segundo-maior-produtor-de-leite-do-Brasil-confirma-IBGE. Acesso em: 18 fev.2025.

SILVEIRA, F. M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SILVA, E. D. B. Dejeto líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 35, n. 5, 2011.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CAMA DE FRANGO NA PRODUTIVIDADE DA FORRAGEM DE AZEVÉM ANUAL (*Lolium multiflorum* Lam.).

Danieli Aparecida Kaminski Zientara[1*], Leandro Liebel[2], Rodrigo Zientara[3], Murilo Girolimetto Kohler[4], Eliziane Luiza Benedetti[5]

[1, 2, 3, 4]Estudantes de graduação de Agronomia, IFSC câmpus Canoinhas, [5]Professora, IFSC câmpus Canoinhas.

[1*]danieli.ak07@aluno.ifsc.edu.br.

RESUMO

A produção de forragens é essencial para suprir a demanda nutricional dos ruminantes e reduzir custos na pecuária. No Sul do Brasil, forrageiras de clima frio, como o azevém (L. multiflorum Lam.), demonstram elevado potencial de rendimento, necessitando aporte adequado de nutrientes, sobretudo nitrogênio. Este estudo avaliou a produtividade do azevém submetido a cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200%) com cama de frango. A semeadura ocorreu em 25/05/2023, em parcelas de 4 m², organizadas em blocos casualizados com quatro repetições, com incorporação total dos tratamentos ao solo seguida de semeadura a lanço. Foram avaliadas a produção de massa fresca e seca ao longo de quatro cortes, simulando pastejo. Observou-se um aumento linear na massa fresca e comportamento quadrático na seca, demonstrando uma expressiva resposta, com a melhor dose de 255,6 kg ha^{-1}.

PALAVRAS-CHAVE: nitrogênio, forrageira, cultura de inverno.

INTRODUÇÃO

Em 2022 o rebanho bovino brasileiro foi estimado em 202,78 milhões de cabeças, e a região sul representa o equivalente a 13,42% desse total (BEEF REPORT, 2023). Sendo assim, a principal fonte na dietas desses bovinos é a utilização de forragens (Hoffmann *et al*., 2014).

Para a alimentação desses bovinos é exigido um grande planejamento, que, caso contrário os custos com a alimentação podem representar até 80 % (Tonissi *et al*., 2013), tornando assim de grande importância a escolha de uma forrageira ideal, aliado com a adubação adequada, para minimizar os custos de produção.

Dentre as pastagens de inverno utilizadas no sul do Brasil, podemos destacar o azevém anual (*Lolium multiflorum Lam*), que é caracterizado por ser uma gramínea forrageira muito utilizada em regiões temperadas e subtropicais do mundo. Para o Brasil essa espécie possui adaptação nas condições climáticas do sul aliado ao grande potencial de produção de massa, alta capacidade de rebrota, excelente valor nutricional e dupla finalidade de uso: silagem e feno (Pedroso *et al*., 2004). Dentre todas essas qualidades ela também possui grande tolerância ao pisoteio de animais.

Entretanto, apesar do azevém possuir todos esses atributos, necessita de nitrogênio (N), que é o principal nutriente para a manutenção da produtividade de pastagens, além de potencializar o rendimento, devido ao fato de ser constituinte de proteínas, sendo assim, fator essencial para o crescimento vegetal e para a alimentação animal.

Os fertilizantes nitrogenados mais utilizados no Brasil são a ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio (Cantarella, 2007). A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado em escala mundial (Dias, 2018). Porém, a busca por novas alternativas por fontes de nitrogênio, como a utilização da cama de aviário, acaba tornando-se uma prática para otimizar os custos de produção, principalmente quando se tem a produção agroindustrial de criação de frango de corte na propriedade, consequentemente, torna a atividade mais sustentável.

Baseado na hipótese que a adubação mineral pode ser substituída pela adubação orgânica com a finalidade de fornecer nitrogênio para o cultivo de azevém anual, esse trabalho tem como objetivo avaliar o potencial produtivo do azevém submetido a doses de cama de aviário para suprimento de Nitrogênio .

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Santa Catarina Campus Canoinhas, localizado a 26° 11 '04.6 "s 50° 22' 06.5"w, a altitude de 775 m, durante o período de 24/05/2023 a 13/09/2023. O clima da região, segundo Köppen é do tipo “Cfb” (Kottek *et al*., 2006).

Anteriormente a área na qual foi desenvolvido o experimento possuía gramínea perene. Foi realizado o preparo convencional do solo, com subsolagem e gradagem aradora e niveladora, uma única vez cada implemento.

A cultivar de azevém anual utilizada foi a Estanzuela LE 284. A semeadura foi realizada no dia 25/05/2023, de forma manual a lanço, correspondendo a 40,5 kg/ha de sementes, sendo esse valor corrigido de acordo com a taxa de pureza, germinação e forma de plantio. A área total do experimento corresponde a 96 m^2 , com 24 parcelas de 4 m^2 (2x2) cada, com espaçamento de 30 cm entre si.

O solo do local possui 76 % de argila, M.O.= 3,3 %; pH_{H2O} = 5,2; P = 2,3 mg dm^{-3} e K= 172 mg dm^{-3}; Ca = 4,3 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg = 2,3 $cmol_c$ dm^{-3}; H=Al = 7,0 $cmol_c$ dm^{-3} e $CTC_{pH\ 7,0}$= 14 $cmol_c$ dm^{-3} .

Os tratamentos correspondem a doses de adubação orgânica para suprir a demanda de N da cultura em 0, 50, 100, 150 e 200%, correspondendo a: 0 kg ha^{-1} (T1 - testemunha), 66 kg ha^{-1} (T2), 132 kg ha^{-1} (T3), 198 kg ha^{-1} (T4) e 264 (T5) kg ha^{-1} de N. Para suprir essas demandas de N foram aplicadas o equivalente a 0; 4.285; 8.570; 12.854 e 17.139 kg ha^{-1} de cama de aves em base seca, respectivamente. Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados com quatro repetições.

Para a determinação do ponto de colheita foram utilizadas datas padronizadas com intervalos de 20 dias, aproximadamente, após cada corte. Obteve-se um ciclo total de 112 dias, onde foram realizados 4 cortes. O primeiro corte foi realizado no dia 14/07/2023, correspondendo a 51 dias após a semeadura. O segundo, terceiro e quarto corte foram realizados nas seguintes datas: 04/08/2023, 24/08/2023 e 13/09/2023, respectivamente. Todos os cortes foram realizados em área conhecida em média a 6 cm do solo, com exceção da testemunha, que devido ao seu baixo desenvolvimento, o seu corte era feito mais próximo do solo. De acordo com as datas mencionadas, o corte era realizado no mesmo dia para todos os tratamentos com o auxílio de uma tesoura de jardim.

Para a determinação da massa seca (MS) foi utilizado o método convencional de secagem em estufa com ventilação de ar forçada com temperatura constante de 65 ºC. As mesmas amostras que eram realizadas na MF, permaneceram na estufa até a obtenção de peso constante para determinação da MS.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, posteriormente à análise de regressão, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises estatísticas indicam que as variáveis avaliadas, como a produção de MF e MS, foram significativamente influenciadas pelas diferentes doses de nitrogênio aplicadas. A análise de variância (ANOVA) demonstrou que houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), mostrando que as doses de nitrogênio provenientes da cama de frango impactaram diretamente a produtividade do azevém.

A produtividade total de matéria fresca (PTMF) aumentou linearmente com o acréscimo das doses de cama de frango (Figura 1a). A PTMF, aumentou de 5,1 t ha^{-1} para 59,4 t ha^{-1} com o aumento da dose de 0 para 264 kg ha^{-1} de N. Com valores de 5,2; 22,3; 42,1; 52,5 e 59,4 t ha^{-1} de PTMF, respectivamente para as doses 0, 66, 132, 198 e 264 kg ha^{-1} de N.

Além disso, a análise de regressão demonstrou que a produtividade total de massa seca (PTMS) (Figura 1b), seguiu um padrão quadrático. Isso indica que houve um ponto máximo na resposta das plantas à adubação nitrogenada, ou seja, a partir de determinada dose de N, o aumento na produção de biomassa foi

menos acentuado. Esse comportamento foi observado com a aplicação de até 255,6 kg ha^{-1} de nitrogênio, onde foi alcançada a produção máxima de 5,77 t ha^{-1} de MS, correspondendo a aplicação de 16.595,5 kg de cama de aves.

A utilização de N nas doses de 0, 66, 132, 198 e 264 kg ha^{-1} apresentaram, respectivamente, uma produção de 0,6; 2,8; 4,8; 5,3 e 5,9 t ha^{-1} de MS. Para o limite de produção encontrado, a cada 1 kg N^{-1} adicionado, incrementou em média 22,6 kg de MS.

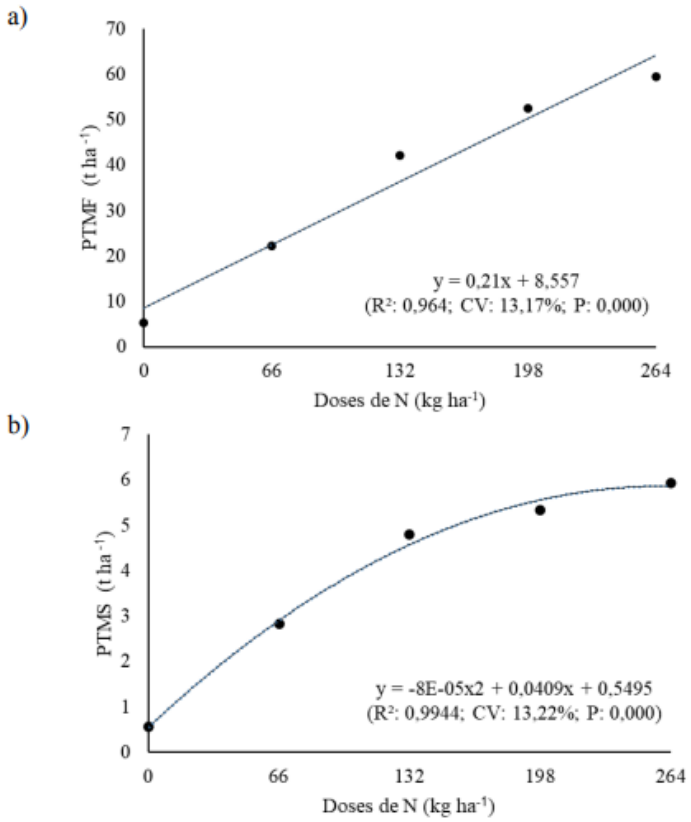


Figura 1. Produtividade total de massa fresca (a) e massa seca (b) de azevém com doses de cama de frango.

Com o aumento das doses da adubação nitrogenada, a PTMS apresentou um aumento de 78,5%, 87,5%, 88,68% e 89,83% em relação às doses 66, 132, 198 e 264 kg de N ha^{-1} , mostrando a importância desse nutriente para elevar a taxa de crescimento dessa planta forrageira. De acordo com Dougherty e Rhykerd (1985), o aumento na produção de MS obtido com a adubação nitrogenada pode ser atribuído ao aumento no índice de área foliar, ao estímulo da taxa de expansão das folhas e à maior produção de perfilhos (Simpson e Stobbs, 1981).

CONCLUSÕES

A adubação orgânica apresenta potencial para suprir a demanda de nitrogênio pelo azevém.

A produção máxima de massa seca foi alcançada com aplicação de 16.595,5 kg ha^{-1} de adubo orgânico.

AGRADECIMENTOS

Instituto Federal de Santa Catarina câmpus canoinhas. Grupo de estudo de fertilidade e nutrição de plantas – FERTINUTRICAN.

BIBLIOGRAFIA

BEEF REPORT. **Perfil da pecuária no brasil**. Abiec, p. 37-43, 2023.

CANTARELLA, H. VII - Nitrogênio. *In:* Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. p.375-470. 2007 Apud GHIZZI, M. L. P. Volatilização de Amônia de Fertilizantes Nitrogenados de Eficiência Aumentada. 2012.

DIAS, C. **Novo fertilizante deve reduzir custos no emprego de uréia**. EMBRAPA, 2018.

DOUGHERTY, C. T.; RHYKERD, C. L. The role of nitrogen in forage-animal production. *In:* HEATH, M. E.; METCALFE, D. S.; BARNES, R. F. (Ed.). Forages: the science of grassland agriculture. 5.ed. Iowa: State University, 1985. 318-325 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

HOFFMANN, A.; MORAES, E. H. B. K.; MOUSQUER, C. J.; SIMIONI, T. A.; GOMES, F. J.; FERREIRA, V. B.; SILVA, H. M. **Produção de bovinos de corte no sistema de pasto-suplemento no período seco**. Pesquisas Agrárias e Ambientais, Sinop-MT, v. 02, n. 02, p. 119-130, 2014.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. Meteorologische zeitschrift. Berlin, v.15, p. 259-263, 2006.

PEDROSO, C. E. S.; MEDEIROS, R. B.; SILVA, M. A.; JORNADA, J. B. J.; SAIBRO, J. C.; TEIXEIRA, J. R. F. Comportamento de ovinos em gestação e lactação sob pastejo em diferentes estágios fenológicos de azevém anual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1340-1344, 2004.

SIMPSON, J. R.; STOBBS, T. H. **Nitrogen supply and animal production from pastures**. *In:* MORLEY, F.H.W. (Ed.). Grazing animals. Amsterdam: Elsevier, 1981. p.261-288.

TONISSI, R. H.; GOES, B. **Alimentos e alimentação animal**. 1 ed. Dourados: UFGD, 2013, 79 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DOSES DE CAMA DE FRANGO NA CULTURA DA SOJA EM CANOINHAS - SC

Murilo Girolimetto Kohler[1*], Rodrigo Zientara[1], José Carlos Romanchuk[1], Danieli Aparecida Kaminski Zientara [1], Eliziane Luiza Benedetti[2]

[1] Discente de graduação em Agronomia, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina campus Canoinhas. *kohlermurilo@gmail.com; [2] Docente , Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina campus Canoinhas.

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa de grande importância no Brasil. Este estudo avaliou o impacto da adubação com cama de frango na nodulação e produtividade da soja em Canoinhas-SC. O experimento, conduzido entre novembro de 2023 e março de 2024, comparou cinco doses de adubação (0%, 50%, 100%, 150% e 200% da recomendação) em delineamento em blocos casualizados. Foram analisados número e massa de nódulos, índice SPAD e produtividade. Devido à distribuição não normal dos dados, foi necessária transformação antes da aplicação da ANOVA ($p<0,05$), seguida de análise de regressão. Não houve diferença significativa no número de nódulos e nos índices SPAD nos tratamentos, mas o peso dos nódulos e o número de favas aumentaram com doses maiores. Conclui-se que a cama de frango pode ser uma alternativa viável à adubação convencional, com indícios de um nível ótimo para a nodulação em doses acima da recomendada.
PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*; nodulação; adubação orgânica.

INTRODUÇÃO

A soja (Glycine max) é uma das leguminosas mais cultivadas e uma commodity de grande importância no Brasil. Em dezembro de 2024, a produção estimada foi de 166 mil toneladas, valor este 12,5% maior que a produção de 23/24, demonstrando a importância deste cultivo para a agricultura nacional (Brasil, 2024).

A cultura da soja é altamente exigente em macronutrientes, que devem estar disponíveis no substrato para seu desenvolvimento adequado. Pode ser suprido integralmente por fixação biológica, tornando-se essencial para a soja, especialmente com o melhoramento de cepas de Bradyrhizobium sp., capazes de atender às demandas das variedades mais produtivas (Crispino *et al*., 2001).

Resíduos orgânicos, como estercos, húmus e restos vegetais, também são fontes complementares de nutrientes. A cama de frango compostada, por exemplo, tem sido destacada por Marafon *et al*. (2022) como capaz de suprir as necessidades de fósforo (P) e potássio (K) da soja, além de outros nutrientes. Contudo, estudos indicam que a adubação nitrogenada pode reduzir a formação dos nódulos responsáveis pela fixação biológica do N (Foo *et al*., 2013).

Diante disso, o presente estudo avaliou doses de adubação orgânica na nodulação e produtividade da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campus IFSC Canoinhas, em Canoinhas - SC (coordenadas: -26.1832096, -50.3693323; altitude: 771 m) entre novembro de 2023 e março de 2024. Foram testados 5 tratamentos: plantas cultivadas sem adubação (T1), adubação com metade da dose recomendada (T2), adubação com 100% da dose recomendada – 7,38 t ha^{-1} – (T3) , adubação com 150% da dose recomendada - (T4) e adubação com dose 200% da recomendada - (T5), para suprir N. A área experimental tinha cultivo prévio de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), com palhada ainda presente, sendo utilizada a variedade de soja *Glycine max* Brasmax Zeus Ipro, plantada manualmente com espaçamento de 0,4m x 0,2m. O delineamento foi em blocos casualizados, com 4 blocos, totalizando 20 parcelas experimentais (2m x 2m cada), separadas por corredores de 0,5m. O manejo incluiu capinas manuais sempre que necessário.

O solo havia sido corrigido previamente, com análise indicando $CTC_{pH\ 7}$ = 14,02 cmol/dm³; pH = 5,9; M.O. = 3,38 % P Mehlich-1 = 1,18 mg/dm³; K = 0,44 cmolc/dm³; Ca = 4,9 $cmol_c$/dm³; Mg = 1,78 $cmol_c$/dm³; Fe = 222,94 mg/dm³; Mn = 14,74 mg/dm³; Zn = 0,59 mg/dm³; Cu = 1,2 mg/dm³. O clima da região é classificado como Cfb (úmido com verões suaves), segundo Köppen (Wrege *et al.,* 2012), com temperaturas médias no mês mais frio abaixo de 18°C e no mês mais quente abaixo de 22°C, sem estação seca definida. Durante o experimento, a precipitação acumulada foi de 423 mm, conforme dados históricos da estação do Inmet em Major Vieira - SC (23 km do local; altitude: 799 m).

As avaliações incluíram o número de nódulos por planta no estágio R4, analisado com o arranquio de 4 plantas por parcela. Os nódulos foram destacados manualmente e então foram pesados na base de matéria úmida, secos em estufa a 65ºC por 48 horas e novamente pesados na base de matéria seca. Durante o experimento, também foi realizada a avaliação do índice SPAD das plantas, utilizando um clorofilômetro Falker modelo CFL 2060. Ao final do ciclo, a soja foi dessecada com diquat (700 g ha^{-1}) e colhida. De cada parcela, 4 plantas foram selecionadas para análise, com favas destacadas e contabilizadas.

Os dados foram analisados no software Sisvar (versão 5.8). O teste de Shapiro-Wilk indicou que os dados – exceto índices SPAD – não seguiram distribuição normal, possivelmente devido aos altos coeficientes de variação. Realizou-se a transformação aplicando uma transformação de radical cúbico para os dados de massa seca dos nódulos e para os demais conjuntos de dados aplicou-se a raiz quarta. Após confirmação da redução dos %CV e confirmação de preceitos usou-se de uma ANOVA a 5% de significância e confirmadas as diferenças os dados foram analisados com uso de uma análise de regressão. Contudo os dados apresentados neste resumo não estão transformados. Também, durante a modelagem dos gráficos 1 e 2, a menor unidade do eixo x é 0,1 ao invés de 0 – T1 = 0% de dose recomendada – devido a incompatibilidade do uso de logaritmos com este valor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto ao número de nódulos observados nas plantas dos diferentes tratamentos, bem como os índices SPAD não foram notadas diferenças segundo teste F a 5% de significância. Crê-se que há forte correlação entre os teores de N na planta e o índice SPAD, visto que este é um componente da molécula de clorofila. Com isso pode-se inferir que nenhuma das plantas teve grave deficiência para este nutriente e outros nutrientes que também manifestam com frequência clorose foliar quando em teores deficitários. Também é possível notar que apesar de serem relatados problemas na nodulação da soja quando há aplicação de adubação nitrogenada (Fagan *et al.*, 2007 apud Da Silva *et al.*, 2019), o mesmo não ocorre quanto ao nível de fertilidade do solo.

Contudo, houve comportamento diferente para o peso deste nódulos, ou seja, a quantidade deles não parece ter sido afetada, mas a "qualidade" destes foi, com as menores doses possuindo nódulos menores, e conforme as doses aumentam os nódulos também aumentam, contudo o ganho de massa entre os tratamentos se torna progressivamente menor. Para os dados transformados foram retornadas as seguintes fórmulas, para massa fresca e massa seca respectivamente: y = 1,026776 + 0,611144*log(x) e y = 0,720960 + 0,655843*log(x), como pode-se verificar no gráfico 1 e gráfico 2.

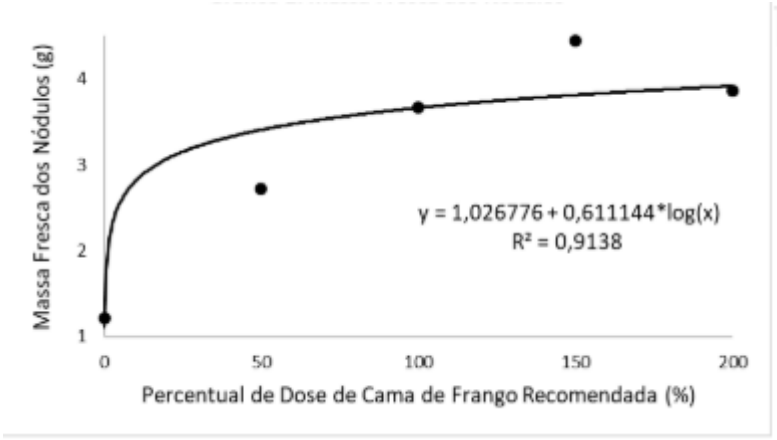


Gráfico 1. Massa Fresca de Nódulos em soja sob adubação com cama de frango.

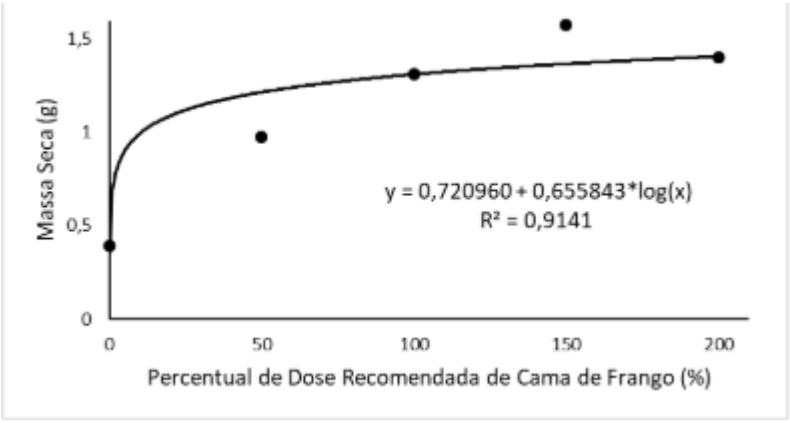


Gráfico 2. Massa Seca de Nódulos em soja sob adubação com cama de frango.

Já com relação ao número de favas, houve um comportamento linear (Gráfico 3), Contudo, o resultado aqui obtido demonstra que mesmo dobrando a dose, não foi o suficiente para que sintomas de toxidez fossem atingidos, e inclusive favoreceram a produção da planta. Também não pode-se ignorar o fato de que a mineralização da matéria orgânica não é instantânea, e a dose maior possivelmente atendeu melhor a demanda nutricional da planta visto a maior quantia de matéria orgânica mineralizada. Ademais, segundo Carpentieri-Pípolo *et al.* (2005) o número de favas é o critério determinante para a produtividade, e portanto, percebe-se que para as condições do experimento, avaliando-se apenas critérios agronômicos, a dose dobrada seria mais indicada.

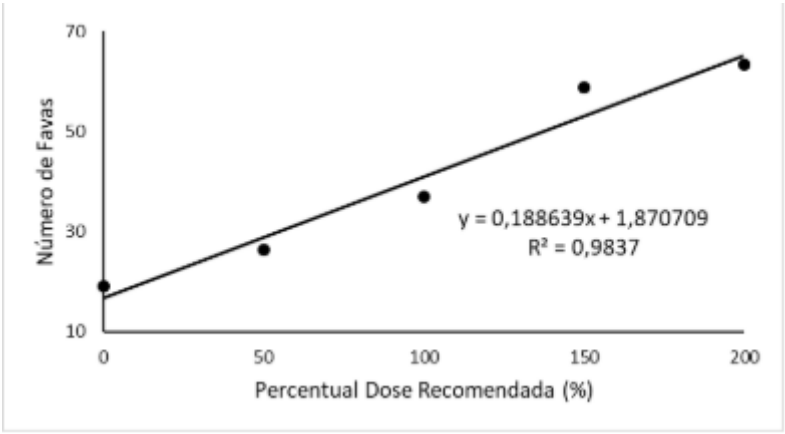


Gráfico 3. Número de Favas/pl de soja sob adubação com cama de frango.

CONCLUSÕES

A dose de 11,07 t/ha (T4) favorece o desenvolvimento de maiores nódulos e ainda uma maior quantia de favas, com a dose 14,76 t/ha (T5) se sobressaindo neste último quesito e com desempenho de nodulação ainda satisfatório. As diferentes doses usadas não afetaram os teores de clorofila das plantas bem como o número de nódulos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à cooperativa CooperAlfa por ter cedido as sementes usadas no estudo. Ao grupo de estudos em fertilidade e nutrição – Fertinutrican pelo auxílio.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL . **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos** . Brasília: Conab, dez. 2024. v.12, n.3, p. 72 - 85. (Conab, Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos, Safra 2024/2025, 3 levantamento). ISSN: 2318-6852.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PIPOLO, E. E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, PR, v.26, n.1, p.11- 16, 2005.

CRISPINO, C. C.; FRANCHINI, J. C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLE, R. N. R.; Loureiro, M. de F.; Dos Santos, E. N.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. **Adubação Nitrogenada na Cultura da Soja** . Londrina: Embrapa Soja, nov. 2001. 6p. (Embrapa Soja, Comunicado técnico 75). ISSN: 1517-1752

DA SILVA, D. F.; RAIMUNDO, E. K. de M.; FORTI, V. A. Nodulação em plantas de soja (Glycine max L. Merril) submetidas a diferentes adubações. **Revista Verde**, Pombal, v. 14, n.3, p.470-475, 2019. Disponível em: 10.18378/rvads.v14i3.6501

FOO, E. *et al*. Strigolactones and the Regulation of Pea Symbioses in Response to Nitrate and Phosphate Deficiency. **Molecular Plant**, v. 6 , n. 1, p. 76-87, jan. 2013. DOI: 10.1093/mp/sss115

MARAFON, G.; MENEZES, J. F. S.; DE ALMEIDA, D. N. L.; BORDIGNON, J. G. Q; OLIVEIRA, M. B.; FERREIRA, M. DOS S. Cama de frango compostada com resíduo de incubatório como substituto da adubação fosfatada na cultura da soja. *In:* CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DO RIO VERDE, 16. 2022. **Resumos [XVI CICURV]**. 2022. 5p. ISSN: 2179-0574

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil**: calagem, adubação e nutrição mineral. Londrina: Embrapa Soja, set. 2008. ed. 1, n. 305, 148p. (Embrapa Soja, Documentos 305). ISSN: 1516-781X

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; DE ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul do Brasil.** 2. ed. rev. Brasília: Embrapa, 2012. 333p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

FONTES DE ADUBAÇÃO NA CULTURA DA SOJA EM CANOINHAS - SC

Murilo Girolimetto Kohler[1*], Henrique Martins Dantas[1], Rodrigo Zientara[1], Vilmara Aparecida Santos da Costa [1], Eliziane Luiza Benedetti[2]

[1] Estudante de graduação em Agronomia, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina campus Canoinhas. *kohlermurilo@gmail.com; [5] Professora, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina campus Canoinhas.

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa asiática essencial no Brasil. Este estudo avalia o impacto da cama de frango na nodulação e desempenho da cultura. O experimento, realizado no IFSC Canoinhas (SC) entre novembro de 2023 e março de 2024, analisou três tratamentos de adubação na soja (solo sem adubo, fertilizantes minerais e cama de frango) em delineamento em blocos casualizados, avaliando nodulação, atividade biológica e produtividade. Dados foram analisados estatisticamente via transformações e ANOVA ($p<0,05$), com teste de Scott-Knott a 95% de confiança. Houve diferenças significativas entre tratamentos adubados e testemunha no número, massa fresca e seca de nódulos, mas não entre adubações. Nos critérios produtivos, diferenças foram observadas no número de favas entre plantas adubadas e testemunha, mas não no índice SPAD, indicando suprimento similar de N. Adubação orgânica com cama de frango iguala-se à convencional; mais estudos são necessários sobre fertilizantes e nodulação regionalmente.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*; nodulação; adubação orgânica.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*), pertencente à família Fabaceae, é uma leguminosa amplamente cultivada e uma das commodities mais relevantes globalmente, sendo especialmente significativa no Brasil. Em 2014, representou 31% das exportações brasileiras (Hirakuri e Lazarotto, 2014).

A cultura da soja é altamente exigente em macronutrientes, que devem estar disponíveis no substrato para seu desenvolvimento adequado. O nitrogênio (N) é absorvido predominantemente como NH_4^+ e via ação de bactérias fixadoras nos nódulos da planta. Esse macronutriente pode ser suprido integralmente por fixação biológica, tornando-se essencial para a soja, especialmente com o melhoramento de cepas de Bradyrhizobium sp., capazes de atender às demandas das variedades mais produtivas (Crispino *et al*., 2001).

Resíduos orgânicos, como estercos, húmus e restos vegetais, também são fontes complementares de nutrientes. A cama de frango compostada, por exemplo, tem sido destacada por Marafon *et al*. (2022) como capaz de suprir as necessidades de fósforo (P) e potássio (K) da soja, além de outros nutrientes. Contudo, estudos indicam que a adubação nitrogenada pode reduzir a formação dos nódulos responsáveis pela fixação biológica do N (Foo *et al*., 2013 apud Yokohama *et al*., 2018).

Diante disso, o presente estudo busca avaliar a produtividade da soja e a dinâmica de nodulação da planta, utilizando a cama de frango como principal fonte de adubação em comparação a adubação convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campus IFSC Canoinhas, em Canoinhas - SC (coordenadas: -26.1832096, -50.3693323; altitude: 771 m) entre novembro de 2023 e março de 2024. A área experimental tinha cultivo prévio de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), com palhada ainda presente, sendo utilizada a variedade de soja *Glycine max* Brasmax Zeus Ipro, plantada manualmente com espaçamento de 0,4m x 0,2m. O manejo incluiu capinas manuais sempre que necessário.

O solo havia sido corrigido previamente, com análise indicando $CTC_{pH\ 7}$ = 14,02 $cmol_c/dm^3$; pH = 5,9; M.O. = 3,38 %; P Mehlich-1 = 1,18 mg/dm^3; K = 0,44 $cmol_c/dm^3$; Ca = 4,9 $cmol_c/dm^3$; Mg = 1,78 $cmol_c/dm^3$; Fe = 222,94 mg/dm^3; Mn = 14,74 mg/dm^3; Zn = 0,59 mg/dm^3; Cu = 1,2 mg/dm^3. O clima da região é classificado como Cfb (úmido com verões suaves), segundo Köppen (Wrege *et al.,* 2012), com temperaturas médias no mês mais frio abaixo de 18°C e no mês mais quente abaixo de 22°C, sem estação seca definida.

Durante o experimento, a precipitação acumulada foi de 423 mm, conforme dados históricos da estação do Inmet em Major Vieira - SC (23 km do local; altitude: 799 m).

Foram testados três tratamentos: plantas cultivadas sem adubação (T1), com fertilizantes minerais/sintéticos (T2), e com cama de frango curtida (T3). Foram usados superfosfato triplo e cloreto de potássio nas respectivas doses: 378 kg ha^{-1} e 129 kg ha^{-1}. A cama de frango foi aplicada na dose de 7,38 t ha^{-1} para suprir a demanda por P_2O_5. O delineamento foi em blocos casualizados, com 4 repetições, totalizando 12 parcelas experimentais (2m x 2m cada), separadas por corredores de 0,5m. Os adubos foram aplicados a lanço manualmente e incorporados com enxadas no dia da semeadura.

As avaliações incluíram o número de nódulos por planta no estágio R4, analisado com o arranquio de 4 plantas por parcela. Os nódulos foram destacados manualmente e então foram pesados na base de matéria úmida, secos em estufa a 65ºC por 72 horas e novamente pesados na base de matéria seca. Durante o experimento, também foi realizada a avaliação do índice SPAD das plantas, utilizando um clorofilômetro Falker modelo CFL 2060. Ao final do ciclo, a soja foi dessecada com diquat (700 g ha^{-1}) e colhida. De cada parcela, 4 plantas foram selecionadas para análise, com favas destacadas e contabilizadas.

Os dados foram analisados no software Sisvar (versão 5.8). O teste de Shapiro-Wilk indicou que os dados não seguiram distribuição normal, possivelmente devido aos altos coeficientes de variação. Realizou-se a transformação dos dados adicionando uma constante (1) para eliminar valores nulos, seguida de transformação logarítmica e por raiz quadrada. Com isso, foi possível realizar a ANOVA com 5% de significância, e, ao constatar diferenças significativas entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Scott-Knott com 95% de confiabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto ao número de nódulos observados nas plantas dos diferentes tratamentos, foram notadas diferenças significativas, contudo, estas se reservaram apenas entre o tratamento testemunha e as adubações, de forma que ambas as adubações foram iguais entre si (Tabela 1).

Por outro lado, relativo ao peso destes nódulos houveram significativas diferenças, contudo, restritas apenas ao tratamento testemunha perante aos demais com adubação, tanto para a massa seca quanto para a massa fresca (Tabela 2).

Isto contrasta com o que Zuffo *et al*. (2019) observou ao avaliar o efeito da época de aplicação de adubação nitrogenada sobre a nodulação da soja, em que houve diferenças significativas entre os tratamentos, com a aplicação antecipada de nitrogênio impactando negativamente a nodulação. Isso sugere que o nível de fertilidade do solo pode favorecer o número de nódulos, permitindo que a planta suporte melhor as bactérias fixadoras. Da Silva *et al*. (2019), ao analisar diferentes fontes de fertilizantes, encontrou igualdade no número de nódulos e na matéria seca de nódulos entre adubação mineral/sintética e cama de frango. Para este autor, também houve igualdade em relação às parcelas testemunhas, mas divergência nos resultados encontrados para a massa seca dos nódulos, o que pode ser explicado pelas características específicas do solo e variedade, evidenciando a importância de estudos localizados para entender melhor este fenômeno biológico. Além disso, no estudo de Da Silva *et al*. (2019), foi observada diferença significativa entre o uso de cama de frango e esterco bovino, indicando que a nodulação pode variar conforme o tipo de adubo utilizado.

Tabela 1. Número de nódulos destacados por planta

Tratamento	Dados Brutos	Dados Transformados
T1	5,13	0,788 A
T2	10,44	0,991 A
T3	7,98	0,945 A

Fonte: Autores 2025

* Médias seguidas por letras iguais são iguais entre si de acordo com teste de Skott-knot α 95%

Tabela 2. Massa Fresca e Seca dos Nódulos destacados

Tratamento	Dados Brutos (MF)	Dados Transformados (MF)	Dados Brutos (MS)	Dados Transformados (MS)
T1	1,22	0,529 B	0,40	0,340 B
T2	3,67	0,787 A	1,31	0,580 A
T3	3,62	0,793 A	1,42	0,604 A

Fonte: Autores 2025

* Médias seguidas por letras iguais são iguais entre si de acordo com teste de Skott-knot α 95%

Com relação aos critérios produtivos, foram avaliados o número de favas por planta, em que novamente se observaram diferenças significativas entre plantas adubadas e não adubadas, como esperado. Contudo, não houve diferenças significativas entre os tipos de fertilizantes. Após a mensuração do índice SPAD, também não se observaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 3), o que indiretamente indica que as plantas estavam equilibradas quanto ao suprimento de N, dado a forte correlação do índice SPAD com o teor deste nutriente nas folhas (Schneider *et al*., 2017).

Tabela 3. Número de Favas (NF) por Planta e índice SPAD

Tratamento	Dados Brutos (NF/pl)	Dados Transformados (NF/pl)	Dados Brutos (SPAD)	Dados Transformados (SPAD)
T1	19,06	1,13 A	52,70	1,32 A
T2	37,11	1,22 A	52,15	1,31 A
T3	31,00	1,20 A	52,72	1,32 A

Fonte: Autores 2025

* Médias seguidas por letras iguais são iguais entre si de acordo com teste de Skott-knot α 5%

CONCLUSÕES

Conclui-se que a adubação orgânica, com cama de frango, se equipara à adubação convencional para esta variedade, se tornando uma opção viável. Quanto à influência da fonte de fertilizantes usada no fenômeno da nodulação, são necessários mais estudos, principalmente no contexto regional.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à cooperativa CooperAlfa por ter cedido as sementes usadas no estudo. E ao grupo de pesquisa Fertinutrican pelo apoio.

BIBLIOGRAFIA

CRISPINO, C. C.; FRANCHINI, J. C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLE, R. N. R.; LOUREIRO, M. DE F.; DOS SANTOS, E. N.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. **Adubação Nitrogenada na Cultura da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, nov. 2001. 6p. (Embrapa Soja, Comunicado técnico 75). ISSN: 1517-1752

DA SILVA, D. F.; RAIMUNDO, E. K. DE M.; FORTI, V. A. Nodulação em plantas de soja (*Glycine max* L. Merril) submetidas a diferentes adubações. **Revista Verde**, Pombal, v. 14, n.3, p.470-475, 2019. Disponível em: 10.18378/rvads.v14i3.6501

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, jun. 2014. ed. 1, n. 349, 70p. (Embrapa Soja, Documentos 349). ISSN: 2176-2937.

MARAFON, G.; MENEZES, J. F. S.; DE ALMEIDA, D. N. L.; BORDIGNON, J. G. Q; OLIVEIRA, M. B.; FERREIRA, M. DOS S. Cama de frango compostada com resíduo de incubatório como substituto da adubação fosfatada na cultura da soja. *In:* CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DO RIO VERDE, 16. 2022. **Resumos [XVI CICURV]**. 2022. 5p. ISSN: 2179-0574

SCHNEIDER, F.; PANIZZON, L. C.; SORDI, A.; LAJÚS, C. R.; CERICATO, A.; KLEIN, C. Eficiência agronômica da cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merril) submetida a coinoculação. **Revista Scientia Agraria,** Curitiba, vol. 18 n. 4, p. 72-79, 2017. ISSN 1983-2443

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil**: calagem, adubação e nutrição mineral. Londrina: Embrapa Soja, set. 2008. ed. 1, n. 305, 148p. (Embrapa Soja, Documentos 305). ISSN: 1516-781X

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; DE ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul do Brasil.** 2. ed. rev. Brasília: Embrapa, 2012. 333p.

YOKOYAMA, A.H.; RIBEIRO, R.H.; ZUCARELI, C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; NOGUEIRA, M. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COELHO, A. E. Crescimento e nodulação da soja em função de culturas de entressafra e adubação nitrogenada. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7., Goiânia, Jun. 2018. **Resumos [VII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA]**. 2018. p. 826-828.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; SANTOS, D. M. DA S. Adubação Nitrogenada Na Soja Inibe A Nodulação E Não Melhora O Crescimento Inicial Das Plantas. **Rev. Agro. Amb.** Maringá, v. 12, n.2, p. 333-349, abr./jun. 2019 - e-ISSN 2176-916.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CTC DO SOLO APÓS O USO DE PÓ DE ROCHA E RESÍDUOS ANIMAIS NO CULTIVO DO MILHO SEGUNDA SAFRA

Luane Laíse Oliveira Ribeiro[1*], Edleusa Pereira Seidel[2], Mayra Taniely Ribeiro Abade[3], Monica Carolina Sustakowski[4], Willian dos Reis[4]

[1] Pós-doutoranda do Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná; [2]Professora da Universidade Estadual do Oeste do Paraná; [3] Professora da Universidade Federal do Paraná, Palotina-PR; [4]Doutorando em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon-PR. *E-mail: luanelaiseagro@outlook.com

RESUMO

O uso de basalto associado com resíduos animais pode ser uma alternativa de adubação na cultura do milho. Objetivou-se avaliar o efeito de doses de basalto com esterco bovino e cama de frango sobre a CTC do solo, tendo como referência a adubação química solúvel. O experimento foi em DBC fatorial (5 x 2) + 1, em quatro repetições, com cinco doses de basalto (0, 4, 8, 12 e 16 t ha^{-1}) associado a esterco bovino e cama de frango (5 t ha^{-1}) e um tratamento adicional com adubação NPK. As coletas de solo foram até 0,20 m. Em todas as camadas, é possível observar que a CTC aumentou com o incremento de basalto. Não houve diferença para a CTC do solo que recebeu as doses de basalto e os resíduos orgânicos em comparação a adubação química. A CTC do solo foi influenciada pelo uso do basalto e resíduos animais.

PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica; qualidade do solo; rochagem.

INTRODUÇÃO

A adubação das culturas é uma prática importante no fornecimento de nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Bedin *et al*., 2022). No Brasil, a forma de fertilização comumente usada na agricultura é por meio de fertilizantes solúveis como o NPK (Toscani e Campos, 2017).

O Brasil importa 85 % dos fertilizantes que utiliza na agricultura, sendo as culturas de soja, milho e cana-de-açúcar responsáveis por mais de 70% do consumo destes fertilizantes (Brasil, 2021). O país importa cerca de 95% do N, 75% do P e 95% do K; sendo que 23% deste total é fornecido pela Rússia (Anda, 2022). Essa realidade evidencia um elevado nível de dependência externa e deixa a economia brasileira vulnerável às oscilações do mercado internacional de fertilizantes (Brasil, 2021), visto que os fertilizantes fazem parte dos insumos com maior custo na produção agrícola de grãos (mais de 40%) e o aproveitamento destes pelas plantas é baixo em muitos solos. Desta maneira, outras técnicas de adubação devem ser avaliadas e utilizadas nas culturas (Toscani e Campos, 2017).

Diante deste cenário agrícola, a pesquisa vem avançando no sentido de propor fontes alternativas de fertilizantes, através do uso de remineralizadores/pó de rocha que são rochas moídas como o basalto que dispõem de minerais capazes de fornecer nutrientes as plantas, atendendo suas necessidades (Almeida Júnior *et al*., 2022). Porém, o basalto precisa passar pelo processo de solubilização para liberação de seus nutrientes. Umas das alternativas para aumentar a velocidade de solubilização dos minerais e favorecer a liberação dos nutrientes que estão associados à composição da rocha é a sua associação com materiais que apresentem grande atividade biológica, tais como a cama de frango e o esterco bovino (Silva *et al*., 2012).

Ambos os resíduos são ricos em matéria orgânica, nutrientes e apresentam grande diversidade biológica que pode atuar diretamente sobre o pó de rocha e favorecer a dissolução de seus nutrientes, além de também serem fonte para fertilização e melhoria da qualidade dos solos. Contudo, são raros os trabalhos que utilizam o pó de rocha de basalto em associação a cama de frango e esterco bovino no cultivo de grãos e as pesquisas precisam ser intensificadas neste sentido.

A hipótese do trabalho indica que o uso de pó de rocha de basalto associado a resíduos animais (cama de frango e esterco bovino) promove alterações e melhorias na qualidade do solo, favorecendo a sua CTC, sendo os resultados equivalentes e/ou superiores aos obtidos pela adubação química solúvel (NPK). Uma vez confirmada essa hipótese, o mesmo poderá ser indicado como insumo, contribuindo para a maior sustentabilidade dos sistemas de produção.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de doses de pó de rocha de basalto combinadas a resíduos animais (esterco bovino e cama de frango) sobre a CTC do solo após o cultivo do milho segunda safra, tendo como comparação o uso da adubação a adubação química solúvel (NPK).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em 2022, na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando situada no município de Entre Rios do Oeste-PR, pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná -Campus Marechal Cândido Rondon-PR (UNIOESTE/MCR). As coordenadas geográficas são 24º40'32, 66" de latitude Sul e 54º16'50,46" de longitude Oeste, a 244 metros de altitude.

O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico, textura muito argilosa, com relevo suave ondulado (Santos *et al*., 2018) e apresentou os seguintes resultados nas profundidades de 0,00-0,20 m: 28,5 mg dm^{-3} de P; 2,3 cmolc dm^{-3} de K; 5,9 cmolc dm^{-3} de Ca; 1,8 cmolc dm^{-3} de Mg; 14,1 g dm^{-3} de CO; 5,3 pH (CaCl2); 4,6 H+Al; assim como foi feita a determinação da granulometria do solo em estudo e obteve-se: 706,8 g kg^{-1} de argila, 182,9 g kg^{-1} de silte 166,3 g kg^{-1} de areia.

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com verões quentes, temperaturas médias superiores a 22ºC e invernos com temperaturas médias e inferiores a 18ºC e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600-1800 milímetros (Caviglione *et al*., 2000).

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso (DBC) em arranjo fatorial (5 x 2) + 1, com quatro repetições. Foram utilizadas cinco doses de pó de basalto (0, 4, 8, 12 e 16 t ha^{-1}) combinadas a duas fontes de resíduos de origem animal: esterco bovino e cama de frango. No tratamento adicional, foi usada adubação química solúvel com 285 kg ha^{-1} do formulado comercial 12-24-12. As parcelas foram constituídas de oito linhas de semeadura e apresentaram área total de 40 m^2 (5x8 m), com área útil de 28 m^2. Antecedendo a semeadura do milho, foi feita a aplicação de forma manual do pó de basalto e resíduos sobre a superfície e em área total de cada parcela, de acordo com as respectivas doses e quantidades dos insumos, sendo utilizado 5 t ha^{-1}dos resíduos. A semeadura do milho foi realizada de forma mecânica em janeiro de 2022. Foi utilizado o híbrido PIONER P3223VYH, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e densidade de 3,3 sementes por metro linear.

As coletas de solo ocorreram após a colheita do milho segunda safra. Com o auxílio de uma pá de corte foram coletadas nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m duas amostras simples por parcela para formar uma composta. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório onde foram secas ao ar (Terra Fina Seca ao Ar-TFSA), passadas em peneira de 2 mm de malha para posterior avaliações e cálculos da CTC do solo.

Atendido os pressupostos, foi feito análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância para o teste F. Para as doses dentro de cada resíduo, os dados foram submetidos a análise de regressão polinomial, sendo escolhido o modelo que melhor se ajustou ao fenômeno investigado. Para comparação dos tratamentos (doses de pó de rocha e resíduos animais) com a testemunha adicional (adubação solúvel) foi aplicado o teste Dunnett (5% de probabilidade de erro), onde calculou-se a DMS Dunnett sendo esta somada subtraída ao valor médio da testemunha para obtenção de uma margem de comparação. De acordo com Vasconcelos (2018), neste teste não se faz comparações entre os tratamentos, mas sim compara cada

tratamento com a testemunha afim de verificar se são iguais ou diferentes. As análises e elaboração das figuras foram realizadas usando os softwares estatísticos Genes (CRUZ, 2006) e SigmaPlot® 12.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito (p<0,05) das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais na CTC do solo das três camadas avaliadas (0,00-0,05 m Figura 1A; 0,05-0,10 m Figura 1B e 0,10-0,20 m Figura 1C).

Nas três camadas avaliadas, é possível observar que a CTC aumentou de maneira linear com o incremento das doses de pó de rocha de basalto, apresentando valores máximos de CTC de 14, 13, 11 $cmol_c$ dm^{-3} com a cama de frango na dose de basalto de 16 t ha^{-1} (Figura 1A, 1B e 1C respectivamente) e com esterco bovino de 15 e 13 $cmol_c$ dm^{-3} na referida dose (Figura 1A e 1B) e de 11 $cmol_c$ dm^{-3} na dose basalto de 11,8 t ha^{-1} (Figura 1C).

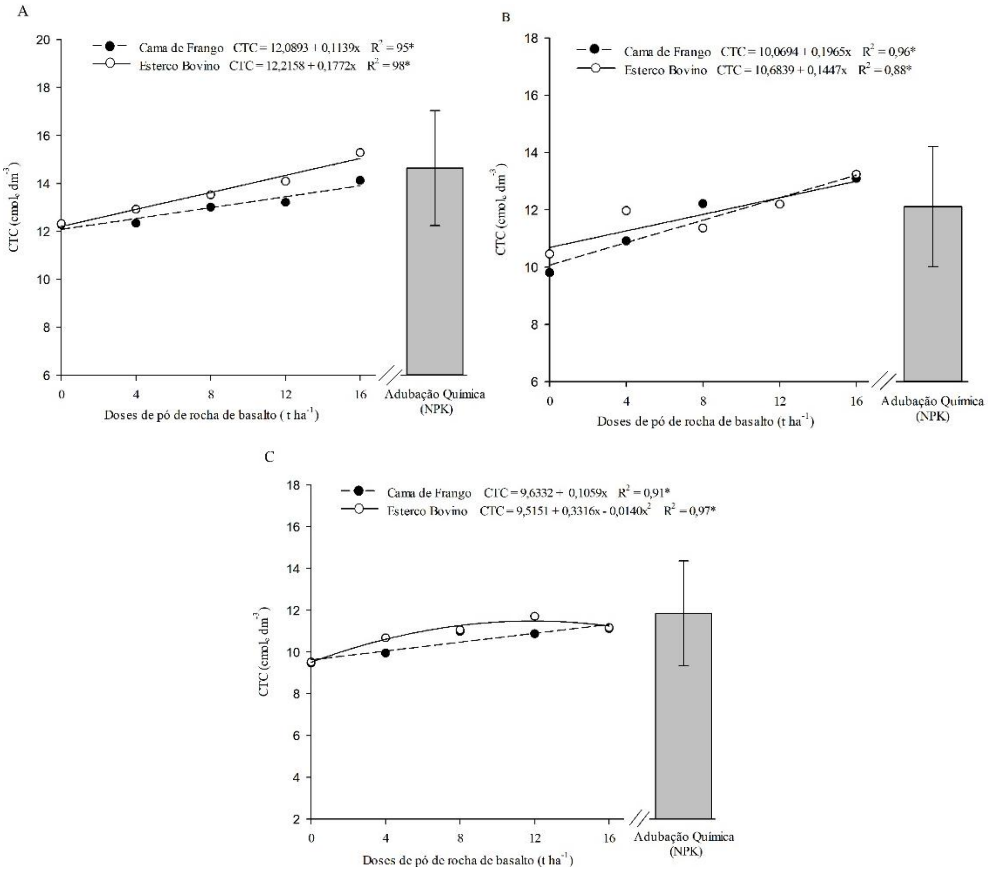


Figura 1. Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha basáltica e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Não houve diferença para os valores de CTC do solo que recebeu as doses de pó de rocha de basalto e os resíduos orgânicos em comparação ao submetido a adubação química solúvel.

Os valores de CTC encontrados são tidos como médio (8-14 $cmol_c$ dm^{-3}) e alto (15-24 $cmol_c$ dm^{-3}). Isso pode ser efeito da ação dos resíduos orgânicos em decomposição sobre a solubilização do pó de rocha, influenciando em uma possível liberação maior de Ca, Mg e K e deixando-os mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação da CTC por estes cátions de reação básica (Pavinato e Rosolem, 2008).

CONCLUSÃO

A CTC do solo foi influenciada pelo uso do pó de rocha de basalto e resíduos animais, contribuindo para o incremento e manutenção das concentrações níveis adequados de cátions básicos do solo, o que indica a construção de um ambiente edáfico favorável ao crescimento e desenvolvimento das culturas.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) –Código de Financiamento 001" pela concessão da bolsa de estudos. A Itaipu Binacional e ao Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável (CVT) da Unioeste pelo incentivo e apoio prestado. Ao Grupo de Estudos em Solos e Agroecologia (GESA) por toda ajuda.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2022.

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SOUZA, A. I.; ALMEIDA, E. V de; CARNEIRO, A. O. T.; SANTOS, L. J. S.; GARCIA, E da, C.; BASTOS, R. J. M. M.; FEREIRA, D. V.; SILVA, V. J. A.; MIRANDA, B; C.; SILVA, D. S da. Milho implantado em segunda safra no Centro-Oeste do Brasil com utilização do remineralizador micaxisto. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 29669-29680, 2022.

BRASIL. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050:** Uma Estratégia para os Fertilizantes no Brasil. Brasília: SAE, 2021, 195 p.

BEDIN, F. SILVA, V. N.; PRITSCH, E. J. P.; ZANETTI, E. J.; STECKLING, E. A. S.; SANTOS, E dos. Eefeito de doses de adubo orgânico no desenvolvimento inicial de plantas de trigo. **Ciência Agrícola, Rio Largo**, v. 20, n. 3, p. 13-20, 2022.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina, Instituto agronômico do Paraná (IAPAR), 2000.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.911-920, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SILVA, M. S. da. **Efeitos de esterco bovino em atributos químicos e físicos do solo, produtividade de milho e créditos de nitrogênio**. 2018. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jabuticabal, 2018.

TOSCANI, R. G. da S.; CAMPOS, J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 259 – 274, 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CTC RADICULAR DE SOJA E MILHO SOB MANEJOS DE ACIDEZ DO SOLO

Robiane Dalzoto[1*], Victoria Koszalka[2], Sara Ferreira Orides[1], Yasmim Christine Conrado Barbieri[1], Marcelo Marques Lopes Müller[3]

[1]Graduandos em Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), *rdalzoto1818@gmail.com; [2]Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da UNICENTRO; [3]Professor Dr., Departamento de Agronomia e PPGA da UNICENTRO.

RESUMO

Este estudo analisa a capacidade de troca catiônica radicular (CTCR) da soja (leguminosa) e do milho (gramínea) sob diferentes manejos de acidez do solo. O experimento foi conduzido sob delineamento de blocos ao acaso, em casa de vegetação em Guarapuava-PR, utilizando vasos com Latossolo Bruno: (i) na condição original do campo (controle); (ii) sob aplicação de calcário (12,16 g vaso^{-1}); e (iii) sob aplicação de gesso agrícola (26,50 g vaso^{-1}). Milho e soja foram cultivados até o florescimento, quando os vasos foram desmontados e as raízes separadas do solo e detritos por peneiramento sob jatos de água (pulverizador costal). As amostras foram enxaguadas (água destiladas) e analisadas quanto à CTCR, sendo os dados submetidos a ANOVA e teste Tukey (α = 0,05). Os resultados indicaram que a CTCR foi maior com a aplicação de calcário em comparação ao controle sem calagem, e que a soja superou o milho em CTCR.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*, *Glycine max*, calagem, gessagem.

INTRODUÇÃO

A capacidade de troca de cátions radicular (CTCR) é a habilidade das raízes das plantas de reter e trocar íons catiônicos essenciais, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^{+}) com o solo, sendo descrita pela primeira vez por Devaux em 1916 e relacionada às cargas negativas nas paredes celulares (HAYNES, 1980).

A CTCR varia entre espécies e idades das plantas, além de ser afetada pela disponibilidade de nitrogênio e por substâncias promotoras de crescimento (CASTELLANE & FONTES, 1983; HELMY & ELGABALY, 1958). Estudos mostram que leguminosas têm maior CTCR e absorvem mais cátions divalentes, enquanto gramíneas, com CTCR menor, absorvem mais cátions monovalentes (SILVA, 2003). Essa diferença justifica a necessidade de correção e adubação específica para cada cultura, com suprimento adequado de Ca e Mg (CARVALHO-PUPATTO *et al*.).

Solos ácidos limitam a produção agrícola no Brasil devido à baixa saturação de bases e toxicidade por alumínio (CAIRES *et al*., 1998; CAIRES; BANZATTO; FONSECA, 2000). A calagem aumenta o pH e neutraliza também o alumínio tóxico (MARTINS, 2005). O gesso agrícola, por sua vez, fornece cálcio e enxofre, além de atuar como condicionador de solo (Brasil, 2006). Em sistema plantio direto, o gesso complementa a calagem, melhorando os atributos químicos do subsolo (BRASIL, 2006). Diante do exposto, é evidente a importância da CTC radicular para a absorção de íons pelas plantas, sendo possível explicação do porque as culturas têm respostas distintas à aplicação de fertilizantes, corretivos e condicionadores de solo. O objetivo do presente estudo foi avaliar a CTCR de soja e milho sob aplicação de calcário e gesso agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado, classificado como Latossolo Bruno (SANTOS *et al*., 2018), foi submetido a três manejos da acidez do solo, aplicando-se (i) 12,16 g vaso^{-1} de calcário dolomítico, dose equivalente a 2,86 Mg ha^{-1} para elevar a saturação por bases do solo a 70%, ou (ii) 26,50 g vaso^{-1} de gesso agrícola, equivalente a 5,81 Mg ha^{-1}, com base em resultados de estudos locais (VICENSI, 2015), e (iii) também manteve-se um controle com solo nas condições originais de acidez no campo. Após incubação por 30 dias sob umidade e temperatura

controladas, o solo foi utilizado para preencher vasos de 11 litros de volume e, em dezembro de 2022, semeou-se milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max* L.), sendo cultivados até o florescimento no início de 2023.

Nesse momento, o experimento foi finalizado, e as raízes foram separadas do solo utilizando peneira de 4 mm sob jatos de água deionizada. As raízes foram, então, enxaguadas em bandejas com água destilada, separadas de detritos (pinças), e secas em estufa a 65 °C por 72 horas. Após moagem (Willey), determinou-se a capacidade de troca de cátions radicular (CTCR) conforme método adaptado de Crooke (1964). Alíquotas de 100 mg para milho e 50 mg para soja foram umedecidas e tratadas com 100 ml de HCl 0,01 mol/L, agitadas por 5 minutos, depois filtradas e tratadas com solução de KCl 1 mol L^{-1}, ajustada para pH 7,0 com KOH 0,01 mol L^{-1}, agitando e filtrando novamente, seguida de titulação com KOH até atingir pH 7,0.

Os dados foram submetidos à análise de variância, sob delineamento de blocos ao acaso (três repetições), em esquema fatorial 3 x 2. Em caso de significância, as médias foram comparadas por teste Tukey (α = 0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho, em relação às culturas, a soja apresentou uma CTC radicular de 22,94 cmolc kg^{-1}, 54,53% maior que a do milho, que foi de 10,43 cmolc kg^{-1}, como mostram os resultados da figura 1.

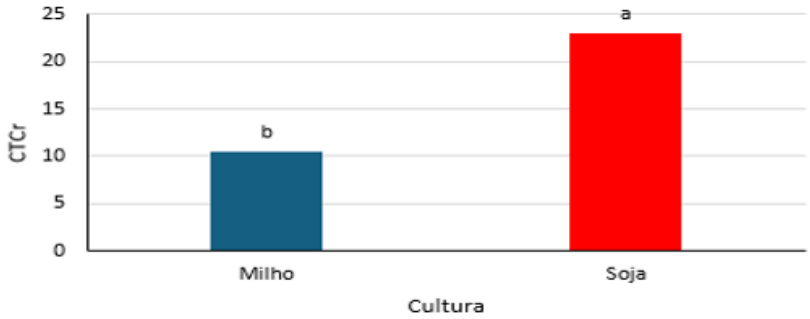


Figura 1. Capacidade de troca de cátions radicular (CTCr) de milho e soja cultivados em vasos com solo, na média de manejos de acidez do solo (controle, calagem, gessagem). Guarapuava, 2023.

Esse resultado demonstra a especificidade da expressão da CTCR, e no presente caso concorda com estudos que mostram que as leguminosas, como a soja, absorvem mais cálcio que as gramíneas, como o mílho (ROSOLEM, 1989; MOREIRA *et al*., 2005). Isso acontece devido às gramíneas apresentarem menor CTCR, sendo mais eficientes na absorção de cátions monovalentes do solo, como potássio (K^+), que na interação com sítios de ligação nas raízes, compete com a absorção de cálcio (Ca^{2+}), caracterizando inibição competitiva entre os nutrientes (MARSCHNER, 1995).

A diferença de absorção de cátions entre as espécies, portanto, também se explica pela maior atração de cátions divalentes, como Ca^{2+} e magnésio (Mg^{2+}) pelas raízes com maior CTCR (dicotiledônesas – soja), enquanto que as raízes com menor CTCR (monocotiledôneas – milho) têm menor atratividade por esse cátions polivalentes, facilitando a absorção de cátions monovalentes como o K^+ (BAKER *et al*.,1953).

A CTCR também revelou uma sensibilidade significativa às diferentes práticas de manejo da acidez do solo. Considerando a média experimental, a aplicação de calcário dolomítico resultou em aumento da CTCR para 18,65 cmolc kg^{-1}, de 21,66% a mais que o resultado médio obtido no controle sem calagem e sem gessagem, o qual apresentou CTCR de 14,61 cmolc kg^{-1} (figura 2).

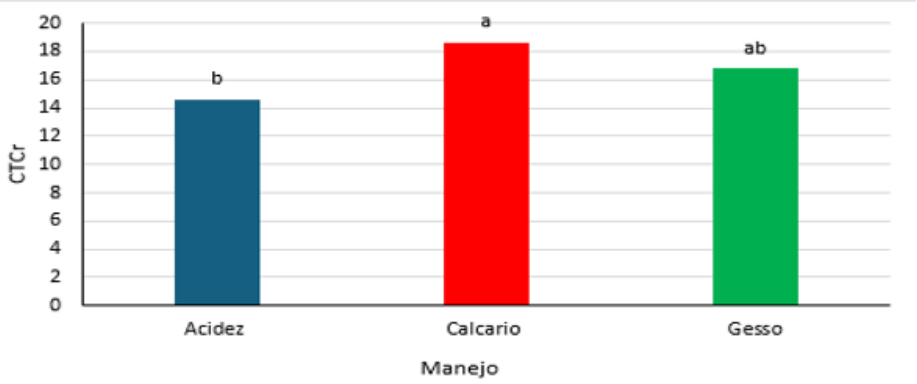


Figura 2. Capacidade de troca de cátions radicular (CTCr) em função de manejos de acidez do solo (controle com acidez, calagem com calcário, gessagem com gesso agrícola), na média das espécies de milho e soja cultivados em vasos com solo. Guarapuava, 2023.

A explicação para esses resultados pode ser entendida pela fisiologia das plantas estudadas. O Ca é crucial na fisiologia das plantas, especialmente como componente da parede celular (PC). Ele atua como um agente estabilizador, formando ligações com pectinas, o que contribui para a rigidez e integridade estrutural da PC e das membranas. Além disso, Ca desempenha papel na sinalização celular e na regulação de processos como crescimento (BRETT *et al*.,1996), sendo que a CTCR está diretamente ligada à formação da PC e à quantidade de oligossacarídeos presentes na sua estrutura.

A aplicação de gesso, por sua vez, resultou em média experimental de 16,79 cmolc kg^{-1}, resultado intermediário aos observados no controle e na aplicação de calcário, não se diferenciando dos demais tratamentos (Figura 2). Isso sugere que, embora o gesso seja eficaz para a melhoria do ambiente do solo subsuperficial para o crescimento radicular, com aumento da disponibilidade de Ca^{2+} e menor atividade toxidez de Al^{3+}, sem afetar o pH do solo, sua influência na CTCR foi menos pronunciada em comparação à do calcário, sendo que o solo utilizado não continha grandes teores de Al^{3+}.

CONCLUSÕES

O presente mostrou que a soja apresentou capacidade de troca catiônica radicular 54,53% superior à do milho, indicando que leguminosas podem ter maior capacidade de troca catiônica radicular, condizente com a maior absorção de cátions polivalentes do solo. A capacidade de troca catiônica radicular foi melhorada pelo uso de calcário dolomítico, que adicionou Ca^{2+} e Mg^{2+} e aumentou o pH do solo, evidenciando a importância da correção da acidez para o processo de absorção de nutrientes das culturas. A aplicação de gesso, embora tenha contribuído com nutrientes como Ca^{2+} e $S\text{-}SO_4^{2-}$, não apresentou efeitos significativos na capacidade de troca catiônica radicular das espécies avaliadas em comparação ao controle utilizado.

AGRADECIMENTOS

Ao pessoal do Grupo de Pesquisa e do Laboratório de Solos e Nutrição de plantas da UNICENTRO, e à doutoranda Victória Koszalka, pelo apoio na realização do trabalho, e também ao meu orientador, prof. Marcelo Marques Lopes Müller, pela oportunidade de poder realizar o projeto.

BIBLIOGRAFIA

BRETT, CT; WALDRON, KW Propriedades Mecânicas das Paredes Celulares Vegetais. *In:* POLÍMEROS DE PAREDE CELULAR.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, n. 1, 1998.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, n. 1, 2000.

SORATTO, R. P.: CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DISPONIBILIDADE DE P NO SOLO APÓS O USO DE PÓ DE ROCHA E RESÍDUOS ANIMAIS

Luane Laíse Oliveira Ribeiro[1*], Edleusa Pereira Seidel[2], Monica Carolina Sustakowski[3], Willian dos Reis[3], Marcos Cesar Mottin[4]

[1] Pós-doutoranda do Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná; [2]Professora da Universidade Estadual do Oeste do Paraná; [3]Doutorandos em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná; [4]Professor no Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz-PR; *E-mail: luanelaiseagro@outlook.com

RESUMO

Foi avaliado o efeito de doses de pó de rocha de basalto com cama de frango e esterco bovino sobre os teores de P no solo, tendo como referência a adubação química solúvel. O trabalho foi em DBC fatorial (5x2) + 1, com quatro repetições, sendo utilizado 0, 4, 8, 12 e 16 t ha^{-1} de basalto e 5 t ha^{-1} de cama de frango e esterco bovino. O P foi avaliado até 0,20 m de profundidade. Os maiores teores foram alcançados nas doses de 7,5 t ha^{-1} (35,6 mg dm^{-3}), 16 t ha^{-1} (28,6 mg dm^{-3}) e 16 t ha^{-1} (25,7 mg dm^{-3}) com a cama de frango e com esterco bovino na dose de 16 t ha^{-1} (37,0 mg dm^{-3} e 26,4 0 mg dm^{-3}) e com 8,7 t ha^{-1} (21,0 mg dm^{-3}). O uso dos insumos contribuiu para elevação e manutenção dos valores P no solo.

PALAVRAS-CHAVE: basalto; cama de frango; esterco bovino; fósforo no solo.

INTRODUÇÃO

A agricultura nos últimos anos tem enfrentado uma série de desafios com destaque para aumento nos custos de produção oriundos principalmente pela disparada no preço dos fertilizantes solúveis e pela instabilidade da produção em virtude das mudanças climáticas que vem ocorrendo e estão cada vez mais impactando a dinâmica dos sistemas de produção agrícolas. O Brasil importa cerca de 85% dos fertilizantes que utiliza na agricultura, apresentando forte dependência a esse insumo, situação está que gera uma instabilidade no setor agrícola e pode comprometer a soberania e segurança alimentar.

A pesquisa vem avançando a fim de propor fontes alternativas de fertilizantes através do uso de pó de rocha de basalto que apresenta macro e micronutrientes além de elementos benéficos que podem contribuir para o desenvolvimento do milho e apresentar efeito residual por um longo período (Writzl *et al*., 2019). Porém, o basalto precisa passar pelo processo de solubilização para liberação de seus nutrientes. Umas das alternativas para aumentar a velocidade de solubilização dos minerais e favorecer a liberação dos nutrientes que estão associados à composição da rocha é a sua associação com materiais que apresentem grande atividade biológica, tais como os resíduos de origem animal (Silva *et al*., 2012).

A utilização de basalto associado a resíduos animais pode apresentar ação equivalente ao adubo químico nos teores de fósforo no solo; no entanto, ainda são poucos os estudos sobre o seu uso na agricultura, com necessidade de ampliação das pesquisas (Writzl *et al*., 2019).

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses de pó de basalto combinadas a resíduos animais (esterco bovino e cama de frango) sobre os teores de P no solo após o cultivo do milho segunda safra.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em 2022, na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando situada no município de Entre Rios do Oeste-PR, pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus* Marechal Cândido Rondon-PR (UNIOESTE/MCR). As coordenadas geográficas são 24º40’32, 66” de latitude Sul e 54º16’50,46” de longitude Oeste, a 244 metros de altitude. O solo da área experimental é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico, textura muito argilosa, com relevo suave ondulado (SANTOS *et al*., 2018).

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso (DBC) em arranjo fatorial (5 x 2) + 1, com quatro repetições. Foi utilizado cinco doses de pó de rocha de basalto (0, 4, 8, 12 e 16 t ha^{-1}) combinadas a duas fontes de resíduos de origem animal: esterco bovino e cama de frango (5 t ha^{-1}). No tratamento adicional, foi usado adubação química solúvel com 285 kg ha^{-1} do formulado comercial 12-24-12 no suco de semeadura do milho.

Antecedendo a semeadura do milho, foi feita a aplicação de forma manual do pó de basalto e resíduos sobre a superfície e em área total de cada parcela, de acordo com as respectivas doses e quantidades dos insumos.

A semeadura do milho foi realizada de forma mecânica em janeiro de 2022. Foi utilizado o híbrido PIONER P3223VYH, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e densidade de 3,3 sementes/metro linear.

A coleta de solo ocorreu após a colheita da cultura, sendo avaliadas as camadas de 0,00 – 0,05 m; 0,05–0,10 m e 0,10 – 0,20 m. O teor de P foi determinado pelo método de Olsen, cujo extrator não é ácido (OLSEN *et al.*,1954).

Foi feito análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância para o teste F. Para as doses dentro de cada resíduo, os dados foram submetidos a análise de regressão polinomial, sendo escolhido o modelo que melhor se ajustou ao fenômeno investigado. Para comparação dos tratamentos (doses de pó de rocha e resíduos animais) com a testemunha adicional (adubação solúvel) foi aplicado o teste Dunnett (5% de probabilidade de erro), onde calculou-se a DMS Dunnett sendo esta somada e subtraída ao valor médio da testemunha para obtenção de uma margem de comparação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa ($p<0,05$) para os teores de P em função das doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais em todas as camadas de solo (0,00 - 0,05 m Figura 1A; 0,05-0,10 m Figura 1B e 0,10-0,20 m Figura 1C).

Os maiores teores de P no solo foram alcançados nas doses de pó de rocha de basalto de 7,5 t ha^{-1} (35,6 mg dm^{-3}), 16 t ha^{-1} (28,6 mg dm^{-3}) e 16 t ha^{-1} (25,7 mg dm^{-3}) com a cama de frango (Figura 1A, B e C respectivamente) e com esterco bovino na dose máxima de 16 t ha^{-1} (37,0 mg dm^{-3} e 26,4 0 mg dm^{-3}) (Figura 1A e B respectivamente) e com 8,7 t ha^{-1} (21,0 mg dm^{-3}) (Figura 1C). É importante observar também que na camada de 0,00 – 0,05 m (Figura 1A), o menor teor de P encontrado foi de 29,4 mg dm^{-3} na dose de 8,0 t ha^{-1} com o esterco bovino, tendo a concentração do nutriente aumentada em 26 % com o uso da dose máxima (16 t ha^{-1}; 37,0 mg dm^{-3}).

Não houve diferença em nenhuma das camadas avaliadas (Figura 1A, B e C) nos teores de P para o solo que recebeu as doses de pó de rocha de basalto e os resíduos animais em comparação ao submetido a adubação química solúvel.

Os valores de P encontrados são altos (22,5 a 30 mg dm^{-3}) e extremamente altos (> 30 mg dm^{-3}) (Koralage *et al.*, 2015).

Como a aplicação do pó de rocha foi realizada em superfície e sem incorporação esperava-se tal comportamento, pois este nutriente tem pouca mobilidade no solo, além de grande fixação pelos minerais de argila (Santos *et al.*, 2008).

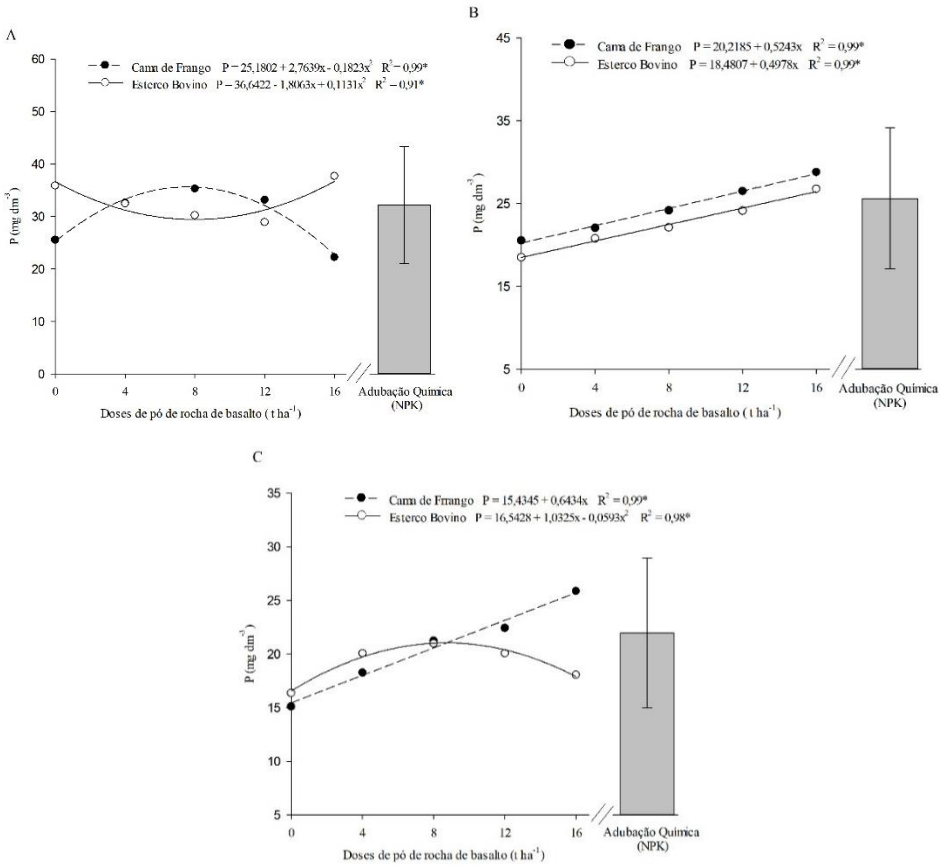


Figura 1. Teor de P no solo nas camadas de 0,00 – 0,05 m (A), 0,05 – 0,10 m (B), 0,10 – 0,20 m (C) em função de doses de pó de rocha de basalto e resíduos animais após o cultivo do milho segunda safra. *: Significativo para ajuste da regressão polinomial. Nota: Barra da Adubação Química indica DMS Dunnett (5% de erro).

Erhart (2009) testou quatro doses de pó de basalto (0, 10, 20 e 50 t ha^{-1}) associado ou não a aplicação de esterco bovino, em comparação com o uso de formulados NPK. O autor verificou que houve incremento no teor de P no solo conforme o aumento das doses de pó de basalto e que este resultado sofreu interferência da profundidade do solo, onde os maiores teores de P foram constatados em menores profundidades, o que evidencia a baixa mobilidade deste nutriente no solo.

Sustakowski (2020), encontrou diferença do nutriente na camada de 0,05-0,10 m, onde observou que houve incremento nos teores de P no solo até a dose de 7 t ha^{-1} de pó de rocha basáltica, reduzindo após essa dose. Nessa camada houve incremento de P de 59% para a dose de 7 t ha^{-1} (27,84 mg dm^{-3}), em relação a ausência de pó de rocha que foi de 17,55 mg dm^{-3}. E Muller *et al*., (2015) verificou que a aplicação de 8 t ha^{-1} de pó de basalto apresentou tendência de aumento nos teores de P no solo. Assim como Borges *et al*. (2017) que encontraram aumento proporcional do teor de P no solo às doses de pó de rocha (3,2 a 6,4 t ha^{-1}) após 3 meses de aplicação.

Os resultados demonstraram que após duas safras, o pó de basalto foi exposto ao intemperismo possivelmente favorecido pela ação da atividade microbiológica presente nos resíduos, assim como outras condições edáficas e climáticas, que contribuiu para o aumentou da solubilização dos minerais constituintes e liberação das frações de P presentes tanto na rocha quanto nos resíduos animais e que se refletiu em significância para as três camadas estudadas.

Esses resultados também apoiam a teoria de que a liberação de silicato pelo pó de rocha atua competindo com o fosfato pelos sítios de adsorção do solo e formando complexos com Al e Fe, diminuindo a precipitação e fixação do P e tornando-o disponível na solução do solo por mais tempo (SUSTAKOWSKI, 2020).

CONCLUSÃO

O uso de basalto com os resíduos animais favoreceu os teores de P no solo, sendo igual ao constatado na adubação convencional.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) –Código de Financiamento 001" pela concessão da bolsa de estudos. A Itaipu Binacional e ao Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca e Agricultura Sustentável (CVT) da Unioeste pelo incentivo e apoio prestado. Ao Grupo de Estudos em Solos e Agroecologia (GESA) por toda ajuda.

BIBLIOGRAFIA

ERHART, J. **Efeito do pó de basalto nas propriedades químicas do solo e nutrição da videira (*Cabernet saubignon*)**. 2009. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

KORALAGE, I.S.A.; WEERASINGHE, P.; SILVA, N.R.N.; SILVA, C.S. de. The determination of available phosphorus in Soil: A quick and simple method. **OUSL Journal**, v.8, p. 1-17, 2015.

MULLER, R.; TONINI, V.; DALACORTE, L.; KORCHAGIN, J.; ABREU, C. T.; BORTOLUZZI, E. C. Produtividade de trigo em função de doses de pó-de-basalto hidrotermalizado. *In:* Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, 2015, Natal, RN. **Anais**. Brasília, DF: SBCS, 2015.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATANABE, F. S.; DEAN, L. A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington: United States Department of Agriculture, 19p. (United States of Agriculture. Circular, 939). 1954.

SANTOS, G.A; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2º edição. Porto Alegre, Metrópole, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SILVA, A.; ALMEIDA, J. A.; SCHMITT, C.; COELHO, C. M. M. Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus benthamlii*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 69-76, 2012.

SUSTAKOWSKI, M. C. **Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura**. 2020. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2020.

WRITZL, T. C.; CANEPELLE, E.; STEIN, J. E. S.; KERKHOFF, J. T.; STEFFLER, A. D.; SILVA, D. W.; REDI, M. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em Latossolo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, 2019.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

RESPOSTA DA SOJA À ADUBAÇÃO COM COMPOSTO ORGÂNICO ASSOCIADO A ADUBAÇÃO MINERAL

Arian Martins Sartor[1*], Carlos Alberto Casali[2], Alan Ribeiro da Silva[3], Antonio Augusto Bini[3], Matheus Bortolote[3]

[1]Estudante de Agronomia, UTFPR-DV, ariansartor@alunos.utfpr.edu.br; [2]Professor de Solos, UTFPR-DV; [3]Estudante de Agronomia, UTFPR-DV.

RESUMO

A busca por práticas agrícolas sustentáveis tem incentivado o uso de compostos orgânicos de resíduos agropecuários como alternativa aos fertilizantes químicos. Este estudo avaliou o efeito de doses de 0, 2, 4, 6 e 8 t ha^{-1} de composto orgânico (2,1% N, 2,8% P2O5, 1,8% K2O), combinadas com 0%, 50% e 100% da adubação mineral recomendada, na produtividade da soja. A dose de 6 toneladas proporcionou a produtividade máxima: 4799 kg/ha^{-1} (0% mineral), 4755 kg/ha^{-1} (50% mineral) e 4840 kg/ha^{-1} (100% mineral). Doses superiores a 6 t ha^{-1} reduziram a produtividade, principalmente com 50% de adubação mineral. Concluiu-se que o composto orgânico é crucial para maximizar a produtividade em cenários com baixa ou nenhuma adubação mineral, sendo menos impactante em níveis elevados de fertilizantes químicos.

PALAVRAS-CHAVE: composto orgânico; soja; produtividade; adubação orgânica; resíduos agropecuários;

INTRODUÇÃO

O Brasil consolida-se como um dos maiores produtores mundiais de carnes, ocupando em 2023 o 2° lugar na produção de carne bovina, o 4° lugar de carne suína e o 2° lugar na produção avícola, com o Paraná respondendo por 40% da produção nacional de aves (ABPA, 2024). Além disso, o país atingiu um recorde de rebanho bovino, com 234,4 milhões de cabeças (IBGE, 2022). Essa cadeia produtiva, uma das mais robustas e competitivas do mundo, gera grandes volumes de resíduos orgânicos, como estercos e subprodutos do processamento animal. Quando não manejados adequadamente, esses resíduos representam um risco ambiental, contribuindo para a contaminação do solo e de recursos hídricos (SILVA *et al.,* 2020). No entanto, quando submetidos a processos controlados, como a compostagem, transformam-se em compostos orgânicos de alto valor agronômico, ricos em nutrientes e matéria orgânica (Mantovani *et al*., 2005).

A aplicação desses compostos na agricultura promove a ciclagem de nutrientes, melhora a qualidade do solo e reduz a dependência de fertilizantes minerais (CARVALHO *et al.,* 2011). Estudos, como o de Brito *et al* (2024) demonstram que a adubação parcialmente orgânica aumenta a produtividade, a altura das plantas, a massa de mil grãos e outros parâmetros de rendimento das culturas. No entanto, assim como os fertilizantes minerais, os orgânicos também podem causar impactos ambientais, exigindo uma calibração cuidadosa para seu uso correto em solos com diferentes níveis de fertilidade, a fim de evitar prejuízos econômicos e ambientais.

Nesse contexto, a associação entre composto orgânico, proveniente de resíduos agropecuários, e fertilizantes minerais representa uma estratégia sustentável para otimizar a nutrição de culturas como a soja, alinhando produtividade e conservação ambiental. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de composto orgânico associado à adubação mineral na produtividade da soja, visando contribuindo para o fortalecimento de práticas agrícolas mais e sustentáveis s (BHATTACHARYYA *et al*., 2008; LIU *et al*., 2009).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na fazenda experimental da UTFPR, em Dois Vizinhos-PR, em uma área manejada sob sistema de plantio direto (SPD) consolidado há 20 anos. O solo da área foi classificado como Nitossolo Vermelho (SIBCS, 2018). Sua composição granulométrica na camada de 0-10 cm apresentou 20 g

kg^{-1} de areia, 143 g kg^{-1} de silte e 850 g kg^{-1} de argila. A caracterização química apresentou os seguintes teores de nutrientes: pH em água 5,3; pH SMP 5,8; MOS 3,22%; P2O5 3,58 mg kg^{-1} ; K2O 39,10 mg kg^{-1} ; Al3+ 0,11 cmolc kg^{-1} ; Ca2+ 3,39 cmolc kg^{-1} ; Mg2+ 1,99 cmolc kg^{-1} ; CTCpH7 11,24 cmolc kg^{-1} e V% 48,75. Antes da implantação do experimento, corrigiu-se a acidez do solo aplicando 1,3 t ha-1 de calcário dolomítico, visando elevar o pH do solo até 6,0.

Em outubro de 2021 foi implantado o experimento, no qual foram aplicadas as doses de 0, 2, 4, 6 e 8 t ha^{-1} de composto orgânico (com teores de 2,1 % N, 2,8 % P2O5 e 1,8 % K2O), associadas a níveis de 0%, 50% e 100% de adubação mineral conforme a necessidade da cultura. O delineamento é de blocos ao acaso com 4 repetições e parcelas subdivididas, dispostos em esquema fatorial com a adubação mineral como tratamento principal e as doses de composto as subdivisões, totalizando 60 parcelas e uma área de 1728 m². O composto orgânico sempre é aplicado em pré-semeadura, enquanto a adubação mineral é realizada na linha de semeadura.

O experimento do presente estudo foi implantado em outubro de 2024 com a soja cultivar Brasmax Zeus em uma população de 266 mil plantas ha^{-1}. A adubação mineral do tratamento 100% correspondeu a 80 kg ha^{-1} de P_2O_5, e 70 kg ha^{-1} de K_2O, aplicados na linha de semeadura na formulação 2-20-18.

Durante o desenvolvimento da cultura foram realizados o controle de plantas daninhas, pragas e doenças por meio da aplicação de defensivos agrícolas. Na maturação da cultura foi avaliada a produtividade de grãos, com a coleta de 4 linhas de 2,0 m de comprimento por parcela. Os dados obtidos foram submetidos a análise da variância por meio do software R®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na ausência da adubação orgânica e mineral a produtividade da soja foi de 3713 kg ha^{-1}, subindo para 3596 kg ha^{-1} com 50% mineral e 4340 kg ha^{-1} com 100% mineral (Figura 1). A cultura soja respondeu positivamente à adubação com composto orgânico na ausência da adubação mineral ou quando se utilizou 50% da dose de fertilizante mineral (Figura 1). Contudo, quando aplicado o composto associado a adubação 100% mineral a soja não respondeu em produtividade às diferentes doses do composto orgânico. Esses valores indicam que a adubação mineral com 80 kg ha^{-1} de P2O5 e 72 kg ha^{-1} de K2O, que seguiu doses conforme o Manual de adubação e calagem do PR, foi suficiente para elevar a produtividade da soja até o seu máximo potencial, pois a adição de nutrientes por meio do composto orgânico não conseguiu elevar a produtividade da soja de forma significativa.

Na ausência da adubação mineral, a soja aumentou a sua produtividade com o aumento da dose de composto orgânico até 6 t ha^{-1}, enquanto com a redução em 50% da adubação mineral, a máxima produtividade da soja foi obtida quando associada a 4,0 t ha^{-1} de composto orgânico. Isso sugere que, a adubação com composto orgânico pode ser reduzida a adubação mineral ou até mesmo substituir completamente, apenas ajustando a dose composto orgânico pode atender a demanda nutricional da cultura. Bhattacharyya *et al*. (2008) observaram que os rendimentos diminuíram com o tempo nas parcelas sem adubação e nos tratamentos com apenas fertilizantes minerais, enquanto nos tratamentos que receberam adubo mineral associado ao resíduo orgânico foram registrados incrementos, evidenciando uma maior eficiência agronômica.

A dose de 6 t ha^{-1} de composto resultou nas produtividades máximas de 4799 kg ha^{-1} com 0% mineral, 4755 kg ha^{-1} com 50% mineral e 4840 kg ha^{-1} com 100% mineral. Esses valores mostram que, em todos os níveis de mineral, a produtividade atingiu seu pico com 6 t ha^{-1} de composto, sendo desnecessária doses de composto maior que essa para adubar a soja.

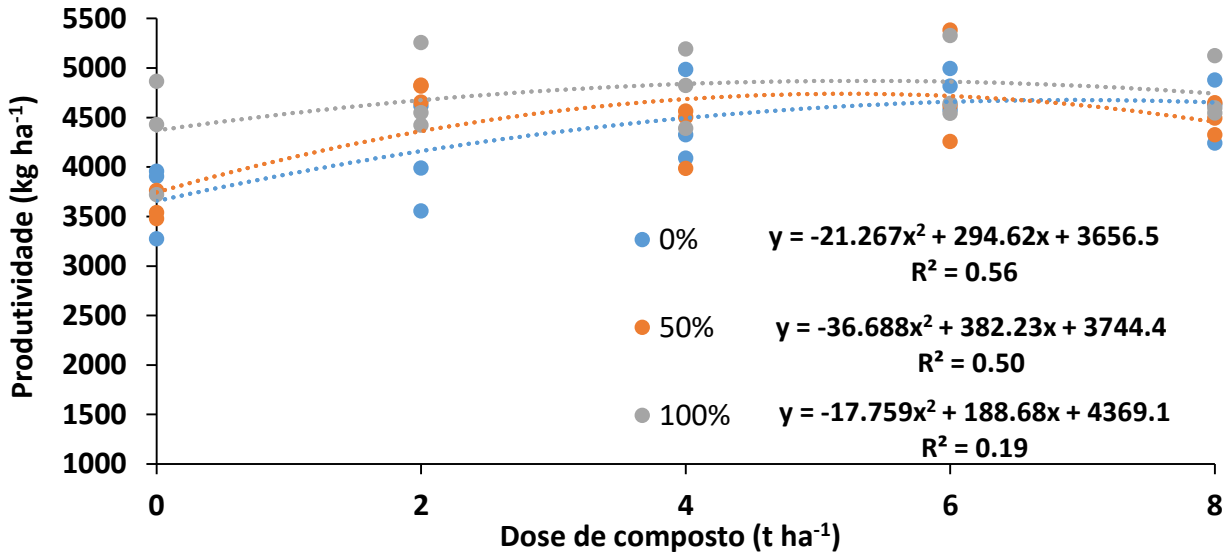


Figura 1. Produtividade da soja em função das doses de composto orgânico associado a diferentes níveis de adubação mineral.

O composto orgânico impactou positivamente na produtividade da soja, principalmente em cenários com baixa ou nenhuma adubação mineral. Com 0% de mineral, a produtividade aumentou 29.2% com a aplicação de 6 t ha^{-1} de composto, passando de 3714 kg ha^{-1} para 4799 kg ha^{-1}. Esses resultados podem ser atribuídos às propriedades benéficas dos compostos orgânicos, que, além de fornecer nutrientes, promovem a ativação da biota do solo, melhoram a retenção de umidade e as características físicas do solo (SOUZA & PREZOTTI, 1997). Com 50% de mineral, o aumento foi de 32.2%. Isso sugere que, em níveis elevados de adubação mineral o composto orgânico se torna menos relevante para a produtividade, possivelmente porque a adubação mineral já está suprindo as necessidades nutricionais da cultura.

Assim, é possível e viável tecnicamente a adubação da soja com composto orgânico associada ao fertilizante mineral, ou até mesmo a completa substituição (SOUZA & PREZOTTI, 1997), sem comprometer a produtividade da cultura. A dose ótima de composto foi de 6 t ha^{-1} para todos os níveis de mineral, resultando em produtividades máximas de 4799 kg ha^{-1} com 0% mineral, 4755 kg ha^{-1} com 50% mineral e 4840 kg ha^{-1} com 100% mineral.

CONCLUSÕES

A adubação com composto orgânico consegue suprir a demanda nutricional da soja, com a dose de 6,0 t ha^{-1} podendo substituir completamente a adubação com fertilizante mineral, enquanto a utilização de 4,0 t ha^{-1} permite a redução da adubação mineral da soja em até 50%.

AGRADECIMENTOS

A empresa Solo Forte de composto orgânico pelo apoio na execução do projeto.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório Anual 2024**. Disponível em: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2024/04/ABPA-Relatorio-Anual-2024_capa_frango.pdf. Acesso em 2 mar. 2025.

BHATTACHARYYA, R. *et al*. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean–wheat system of the Indian Himalayas. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 01, p. 33-46, 2008.

BRITO, T. T. *et al*. Eficiência do uso de fertilizantes oriundos de fontes orgânicas no desenvolvimento da cultura da soja e milho: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 11, n. 29, p. 1543-1558, 2024. DOI: 10.21438/rbgas(2024)112932.

CARVALHO, E. R. *et al*. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrieNtes no solo. **Revista Ciência Agronômica**, Lavras, v. 42, n. 4, p. 930-939, out./dez. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE**). Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)**. 2022. Disponivel em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html. Acesso em: 2 mar. 2025.

LIU, M. *et al*. **Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments**. Applied Soil Ecology, v. 42, n. 02, p. 166-175, 2009.

SOUZA, M. *et al*. **Compostagem: uma proposta ambiental para diminuição do lixo doméstico**. Em Extensao, v. 19, n. 2, 2020.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, n.5, p.817-824, 2005.

SOUZA, J. L.; PREZOTTI, L.C. **Estudos de solos em função de diversos sistemas de adubação orgânica e mineral**. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 37., 1997. Manaus. Horticultura Brasileira, n.16, v.1, p.300.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DE DIFERENTES MANEJOS DE ADUBAÇÃO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Giovana de Jesus Gomes[1]*, Roberta do Nascimento Fernandes[1], Stephanie dos Santos Locatelli[2], Gabriela Machineski da Silva[3], João Tavares Filho[3].

[1]Estudante de graduação da Universidade Estadual de Londrina; [2]Estudante do doutorado da Universidade Estadual de Londrina; [3]Professor e pesquisador da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: *giiovanagomes10@gmail.com

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficácia de adubações mineral, organomineral e orgânica na disponibilidade de nutrientes no solo em um Latossolo Vermelho Eutroférrico em Londrina-PR, com coletas em 2023 e 2024. Analisamos o pH, cálcio, magnésio, fósforo, potássio e carbono orgânico total. Comparando as duas coletas, houve aumento do alumínio, mas abaixo do limite que poderia vir à toxidez das plantas. As quantidades de potássio aumentaram significativamente apenas na primeira camada (0-5cm) com adubação mineral, e pode estar relacionado à maior disponibilização de K por este adubo, que liberam nutrientes de forma mais rápida. Concluímos que as diferentes adubações não tiveram diferenças discrepantes, contudo, o adubo que pode ser destacado é o mineral, possivelmente pelas suas propriedades rápidas de absorção. A continuação deste estudo é fundamental, uma vez que a disponibilização de nutrientes pelos adubos orgânicos é mais lenta e gradual.

PALAVRAS-CHAVE: fertilidade do solo; adubação organomineral; disponibilidade de nutrientes; acidez do solo; análise química.

INTRODUÇÃO

Sendo o Brasil uma potência agrícola, onde o agronegócio é responsável por quase metade das exportações brasileiras que continua a crescer desde 1994, e tendo a crescente demanda mundial pela produção de alimentos, tem ocorrido o aumento do consumo de fertilizantes na agricultura. O Brasil utiliza mais de 80% dos fertilizantes de origem estrangeira devido às grandes reservas de matérias-primas necessárias para a produção nacional. Além disso, existem os riscos à segurança alimentar pela dependência dos mesmos (Caligaris, 2020). A utilização de biofertilizantes, como o organomineral e o orgânico, podem ser trazidos como possíveis soluções na dependência dos fertilizantes químicos e contribuir para uma agricultura mais sustentável. A adubação organomineral pode ser produzida à base de resíduos industriais, como dejetos de cama de frango, e enriquecida com fertilizante mineral pode ser uma alternativa viável para a minimização dos custos de produção, assim como a utilização de adubos orgânicos, como somente a cama de frango, onde os valores de resíduos orgânicos são mais baixos em relação ao adubo químico, viabilizando ainda mais sua utilização (LIMA *et al*., 2010). Dessa forma, a hipótese do trabalho é que a adubação organomineral e orgânica tragam diferentes resultados em relação à química do solo, se sobressaindo à adubação mineral. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade química do solo sob manejo de três adubações distintas: mineral, organomineral e orgânica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola - Universidade Estadual de Londrina-PR, com coordenadas latitude 23 ° 08 ' 47 '' e 23 ° 55 ' 46 '' sul e longitude entre 50 ° 52 ' 23 '' e 51 ° 19 ' 11 '' oeste. O solo do experimento é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico (LVe) e o clima é classificado como subtropical úmido, conforme classificação de Köppen.

A primeira coleta foi realizada em novembro de 2023, quando o experimento foi iniciado, e a segunda coleta em novembro de 2024. A área experimental tem um total de 9.600 m², dividida em quatro áreas, sendo cada uma de 30 x 80 m. Cada área corresponde às adubações orgânica, organomineral, mineral e uma

área de referência (sem adubação). As coletas foram realizadas em 6 pontos aleatórios em cada área com 3 diferentes profundidades, 0–5, 5-10 e 10-20cm, totalizando 72 amostras.

As análises realizadas foram: pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K) e carbono total (COT). Para as determinações de pH, Ca, Mg e K, seguiu-se a metodologia descrita por Silva *et al*. (2016), o P foi analisado por meio do método de Mehlich-1, conforme recomendado por Tedesco *et al*. (1995), e o COT foi quantificado conforme Tedesco *et al*. (1995). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando a coleta 1 e a coleta 2 (Tabela 1), após um ano da adubação, as maiores mudanças ocorreram na camada superficial (0-5 cm). O Ca aumentou em todos os tratamentos, com destaque para a referência (16,58 Cmolc dm-3), seguida pelo orgânico e mineral (12,79 e 13,65 Cmolc dm-3), e o organomineral (10,93 Cmolc dm-3). O Mg reduziu e se igualou entre os tratamentos. O Al aumentou nas áreas mineral e organomineral (0,08 e 0,07 Cmolc dm-3), diferenciando-se das áreas orgânicas e referência (0,01 Cmolc dm-3), que diminuíram. O K aumentou, com destque na área mineral (de 2,39 para 17,86 Cmolc dm-3), mas todas as áreas na coleta 2 foram estatisticamente iguais. O pH variou pouco, mantendo-se próximo entre as áreas. Na camada de 5-10 cm, as áreas com adubação não diferiram significativamente. O Al aumentou na área organomineral (de 0,05 para 0,19 Cmolc dm-3), enquanto o K reduziu nas áreas mineral e referência (de 12,64 e 13,33 para 5,56 e 8,18 Cmolc dm-3, respectivamente). O pH permaneceu estável. Na camada de 10-20 cm, o Ca diminuiu levemente, com a referência se destacando (10,40 Cmolc dm-3). O Mg se manteve estável, e o Al aumentou em todos os tratamentos, com destaque para o mineral (aumento de 0,13 Cmolc dm-3). O K diminuiu, mas sem diferenças significativas na coleta 2. O pH se manteve semelhante, exceto na adubação orgânica, onde alterou de 5,3 para 4,5, diferenciando-se das demais áreas.

De forma geral, embora houve ligeiro aumento do Al na coleta 2, os níveis permaneceram abaixo dos limites que poderiam impactar negativamente o crescimento das plantas, sem risco de toxidez (MALAVOLTA, 2006).

As quantidades de potássio (K) aumentaram significativamente apenas na primeira camada (0-5cm) entre as coletas na adubação mineral, e pode estar relacionado à maior disponibilização de K por este adubo, que são conhecidos por liberar nutrientes de forma mais rápida (MALAVOLTA, 2006; SILVA *et al*., 2016).

Os resultados de pH que se mostraram mais baixos na área de adubação orgânica podem ter sido influenciados pela presença de matéria orgânica (MO), onde pode ocorrer acidificação do meio pela degradação da MO pelos microrganismos do solo (EMBRAPA, 2018), uma vez que os demais elementos que poderiam ser evidenciados com a redução do pH, como o Al, se manteve baixo, ou seja, a redução do pH pode não ter influenciado na disponibilidade de nutrientes ao solo (TEDESCO *et al*., 1995).

Tabela 1. Análise química e de acidez do solo nos diferentes tratamentos e profundidades.

Tipo de Adubação	Ca	Mg	Al	K	pH
Coleta 1					
0-5 cm					
Orgânica	8,69 a	2,72 b	0,02 a	5,59 ab	5,7 b
Mineral	8,06 a	5,55 b	0,02 a	2,39 b	5,3 c
Organomineral	6,82 a	6,54 a	0,03 a	7,19 a	6,3 a
Referência	8,07 a	2,95 ab	0,04 a	6,75 a	5,8 b
CV (%)	15,54	10,23	54,04	30,96	2,44
5-10 cm					
Orgânica	6,43 a	2,41 a	0,01 b	4,95 b	5,7 ab
Mineral	8,35 a	2,26 a	0,07 a	12,64 a	5,4 b
Organomineral	7,55 a	3,42 a	0,05 a	3,71 b	6,0 a
Referência	9,98 a	3,02 a	0,00 b	13,33 a	5,3 b
CV (%)	23,44	21,97	36,37	33,64	4,42
10-20 cm					
Orgânica	7,57 ab	2,84 a	0,01 b	6,33 b	5,3 a
Mineral	7,88 ab	3,60 a	0,00 b	18,12 a	5,3 a
Organomineral	6,27 b	2,68 a	0,01 b	4,61 b	5,8 a
Referência	9,32 a	2,72 a	0,05 a	10,08 b	5,5 a
CV (%)	16,03	14,54	72,54	26,08	4,57
Coleta 2					
0-5 cm					
Orgânica	12,79 ab	3,77 a	0,01 b	14,91 a	5,5 b
Mineral	13,65 ab	4,07 a	0,08 a	17,86 a	6,2 a
Organomineral	10,93 b	3,86 a	0,07 a	13,92 a	5,9 ab
Referência	16,58 a	4,06 a	0,01 b	12,94 a	6,3 a
CV (%)	14,05	7,63	53,43	17,49	4,85
5-10 cm					
Orgânica	7,38 b	2,96 a	0,04 b	5,06 a	5,8 a
Mineral	7,56 b	2,84 a	0,09 b	10,48 a	5,8 a
Organomineral	7,07 b	2,74 a	0,19 a	9,74 a	5,9 a
Referência	13,41 a	3,27 a	0,05 b	8,35 a	6,3 a
CV (%)	13,37	13,12	44,72	36,15	8,2
10-20 cm					
Orgânica	6,50 b	2,73 a	0,06 a	3,83 a	4,5 b
Mineral	5,98 b	2,64 a	0,13 a	5,56 a	5,4 a
Organomineral	7,32 b	2,77 a	0,10 a	5,68 a	5,5 a
Referência	10,40 a	2,63 a	0,04 a	8,18 a	5,7 a
CV (%)	8,34	15,46	50,6	38,97	6,87

CONCLUSÃO

Concluímos que, no período de um ano, as diferentes adubações não tiveram diferenças discrepantes, contudo o adubo que pode ser destacado é o mineral, possivelmente pelas suas propriedades rápidas de absorção. A continuação deste estudo é fundamental, uma vez que a disponibilização de nutrientes pelos adubos orgânicos é mais lenta e gradual, pois depende da mineralização da MO e proporciona disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo.

BIBLIOGRAFIA

SCIELO BRASIL. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. Disponível em: https://www.scielo.br/.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

LIMA, R. P. *et al*. Dinâmica da porosidade do solo sob diferentes sistemas de manejo e adubação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 45, n. 8, p. 815-822, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/.

SILVA, F. C. *et al*. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2016.

TEDESCO, M. J. *et al*. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais, 2020. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128267/1/5840.pdf.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

NOVAIS, R. F. *et al*. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007.

CALIGARIS, L. S. Fertilizantes: estudos estratégicos. Brasília: Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO ORGÂNICO COMPARATIVO ENTRE OS ANOS DE 2020 E 2021: ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Geovana Beatriz Mandriki[1*] Maicon Reginatto[2], Paulo Cesar Conceição[3]
[1] Estudante de graduação em Agronomia, UTFPR - Campus Dois Vizinhos *geovanamandrik@alunos.utfpr.edu.br; [2]Doutorado UTFPR - Campus Dois Vizinhos; [2]Pesquisador, CAMP Sementes; [3]Professor UTFPR- Campus Dois Vizinhos, Docente Permanente PPGAG.

RESUMO

A produção orgânica envolve diferentes tecnologias para a produção sustentável de grãos. O Sistema Plantio Direto, por meio do uso de plantas de cobertura, potencializa a fertilidade, reduz a incidência de plantas espontâneas, conserva os recursos naturais, reduz a dependência dos agroquímicos e propõe melhorias físicas, químicas e biológicas no sistema. Este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de massa seca de plantas de cobertura, em sistema de plantio direto orgânico na UTFPR-DV. O delineamento experimental foi em bloco casualizado (DBC), sendo dezesseis rotações de culturas e 3 repetições. As plantas foram coletadas aos 90 dias, utilizando um quadro de 0,25 m², secas em estufa a ±60 °C. Os resultados demonstram que a produção de MS nos sistemas avaliados no inverno 2020 não apresentaram diferenças significativas entre si dentro de cada rotação. Porém, para o inverno 2021 foi observado diferença significativa entre as diferentes culturas dentro de cada rotação.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura orgânica; agricultura sustentável; rotação de culturas; adubos verdes.

INTRODUÇÃO

O Brasil é referência no âmbito agropecuário, sendo o principal exportador de grãos como soja e milho, tendo cerca de aproximadamente 61 milhões de hectares de área plantada (MapBiomas 2023), entretanto, a segurança alimentar e o manejo adequado dos ecossistemas levantam questionamentos quanto ao uso intensivo de agroquímicos utilizados nos sistemas de plantio convencionais. Diante do exposto, surge a agricultura orgânica, que depende dos princípios naturais e da biodiversidade para produzir alimentos livres de insumos químicos, mas deve-se enfatizar que a produção orgânica não é simplesmente evitar os insumos químicos convencionais, nem é a substituição dos insumos naturais por sintéticos. ‘‘Os agricultores orgânicos aplicam técnicas usadas pela primeira vez há milhares de anos, como rotação de culturas e o uso de esterco animal composto e culturas de adubo verde, de maneiras que são economicamente sustentáveis no mundo atual. Na produção orgânica, a saúde geral do sistema é enfatizada e a interação das práticas de manejo é a principal preocupação. Os produtores orgânicos implementam uma ampla gama de estratégias para desenvolver e manter a diversidade biológica e restabelecer a fertilidade do solo’’ (USDA, 2007).

A agricultura sustentável adota uma abordagem sistêmica para conservar recursos naturais e ecossistemas, promovendo a manutenção e recuperação do solo e da água por meio de manejos integrados. O sistema plantio direto se destaca como uma alternativa viável, pois reduz o revolvimento do solo, controla a erosão, minimiza o uso de agroquímicos e melhora suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Nesse contexto, as plantas de cobertura ganham importância ao suprimir plantas daninhas, reter umidade e, em alguns casos, contribuir com a fixação biológica de nitrogênio. No cultivo orgânico, sua adoção se torna ainda mais relevante, pois potencializa a fertilidade do solo sem depender de insumos sintéticos.

Este trabalho, baseado na hipótese de que sistemas mais diversos, com várias espécies de plantas de cobertura potencializa seu desenvolvimento, teve como objetivo avaliar o desempenho das culturas comerciais e plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico em diferentes rotações de culturas, determinando a produtividade e produção de massa seca das plantas de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UNEPE - Orgânica) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – Campus Dois Vizinhos), sob latossolo vermelho (CABREIRA, 2015), com clima predominante Cfa, subtropical, com temperaturas superiores a 22ºC no verão, superior a 30 mm de chuva no mês mais seco (ALVARES, 2013), relevo levemente acidentado e com altitude de 520 metros do nível do mar. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com 16 rotações de culturas e três repetições, totalizando 48 unidades experimentais (UE) com 200 m² (5 x 40 m) cada.

As plantas de cobertura solteiras e em misturas utilizadas na montagem das rotações de culturas foram: AP: Aveia preta, AB: Aveia branca, TDP: Trigo duplo propósito, S: Soja, CJ: Crotalaria juncea, C: Centeio, F: Feijão, TM: Trigo mourisco, M: Milho, LL: Lab Lab, MI: Milheto, G: Guandu, CONS1: Nabo + AP + EC (10%, 60%, 30%, 46 respectivamente) CONS 2: Nabo, AP, C e EC (7%, 46%, 25%, 22%, respectivamente), MIXM: TM + CJ +MI (54%, 30%, 16%, respectivamente). Os mix de plantas de cobertura comerciais RX330® (AP, C, Ervilhaca peluda e Ervilhaca comum) e RX610® (AP, Ervilhaca Peluda, Ervilhaca Comum e Nabo Pivotante). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com 16 rotações de culturas e três repetições.

O plantio das plantas de cobertura foi realizado em faixas com coleta de MS aos 90 dias, sendo coletadas a parte aérea das plantas de cobertura utilizando um quadro de 0,25 m², e avaliadas de acordo com a metodologia de Ziech *et al*., 2015 e sendo direcionadas a secagem em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C.

A semeadura de plantas de cobertura de verão ocorreu com espaçamento de 0,50 metros sendo mix de C. juncea + T. mourisco + Milheto, na proporção de 30%, 54% e 16%, e densidade de 60 kg/ha. A semeadura do lablab foi realizada na densidade de 46 kg/ha. As culturas de inverno do ciclo 2020 foram o mix comercial RX 330, composto das culturas de Ervilhaca peluda e comum, Aveia preta e centeio, o qual foi com a densidade de 105 kg.ha^{-1}. Realizando também a semeadura do mix RX 610, composto das culturas Ervilhaca comum e peluda, Aveia preta e nabo pivotante numa densidade de 100 kg.ha^{-1}. A aveia preta Iapar 61, foi semeada na densidade de 97 kg.ha^{-1} enquanto o mix de aveia preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro, nas proporções 60%, 30% e 10%, respectivamente, foi semeado na densidade de 85 kg.ha-1. O manejo das plantas de cobertura de inverno ocorreu simultaneamente nos plantios das culturas comerciais, realizando o tombamento das plantas com rolo faca e após acoplando a semeadora.

Já para C. cajan cv. Fava larga, 20 kg.ha^{-1} para P. glaucun cv. BRS 1501 e de 46 kg.ha-1 para L. purpureus cv. Longai. Tendo interferência hídrica no ano de 2021, prejudicando significativamente o ciclo de inverno 2021 foi semeado a aveia preta IAPAR 61 com densidade de 60 kg.ha^{-1} e o centeio com densidade de 80 kg.ha^{-1}. A aveia preta BRS 139 foi semeada com densidade de 80 kg.ha^{-1} e o mix de nabo , aveia preta, centeio e ervilhaca comum (7%, 46%, 25%, 22%, respectivamente) nas parcelas com densidade de 100 kg.ha^{-1}.

A massa seca da parte aérea das plantas de cobertura foi coletada aos 90 dias, utilizando um quadro de 0,25 m², e avaliadas de acordo com a metodologia utilizada por Ziech *et al*., 2015 e direcionadas a secagem em estufa de circulação de ar forçada a ±60 °C.

As análises estatísticas foram realizadas através de análise de variância DBC, onde as médias foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa estatístico computacional Sisvar (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de produtividade de MS das plantas de cobertura de inverno no ano de 2020 (Tabela 1) não apresentaram diferenças significativas entre si. Mesmo entre as misturas comerciais, misturas realizadas pelo projeto ou até mesmo pela cultura solteira de aveia preta. Isso está em linha com o histórico da safra anterior

(rotação antecessora) onde o talhão foi cultivado tanto no verão quanto na safrinha com a mesma cultura, sem haver as subdivisões em faixas.
Sequência de 2 gramíneas (Milho e Milheto).

Tabela 1. Valores médios da MS das plantas de cobertura de inverno cultivadas após as diferentes rotações de cultura no ano de 2020.

Manejo avaliada	Massa Seca (Mg ha^{-1})	Rotação antecessora
R1 – CONS1: N+AP+EC	6880 ns	MI – AP – S – LL
R2 – CONS1: N+AP+EC	6466 ns	CJ – AP – S – LL
R3 – CONS1: N+AP+EC	6933 ns	LL – AP – S – LL
R4 – CONS1: N+AP+EC	6973 ns	G – AP – S – LL
R5 – RX 330	5250 ns	MI – AB+TDP – S
R6 – RX 330	4684 ns	CJ – AB+TDP – S
R7 – RX 330	5309 ns	LL – AB+TDP – S
R8 – RX 330	5281 ns	G – AB+TDP – S
R9 – RX 610	7443 ns	MI – AP+C – F – TM
R10 – RX 610	6439 ns	CJ – AP+C – F – TM
R11 – RX 610	6456 ns	LL – AP+C – F – TM
R12 – RX 610	6278 ns	G – AP+C – F – TM
R13 – AP IAPAR 61	5771 ns	MI – CONS2 - F – MixM
R14 – AP IAPAR 61	6415 ns	CJ – CONS2 - F – MixM
R15 – AP IAPAR 61	6403 ns	LL – CONS2 - F – MixM
R16 – AP IAPAR 61	5685 ns	G – CONS2 - F – MixM
CV (%)	17,3	

ns Não significativo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: REGINATTO, 2023.

Já na safra correspondente à safrinha de 2021, na qual foram semeadas as plantas de cobertura outonais Milheto, C. juncea, Lab Lab e o mix de TM + CJ + MI, nas proporções de 54%, 30% e 16%, respectivamente, apresentou um desenvolvimento abaixo do esperado devido à baixa disponibilidade hídrica nesse período. Mesmo assim, essa variação nas combinações foi sentida na avaliação das culturas de inverno (Quadro 2) onde as culturas gramíneas (AP BRS 139 e C SERRANO) apresentaram os piores resultados quando cultivadas numa sequência de 2 gramíneas (Milho e Milheto). A presença da soja ou feijão como cultura de verão modificou essa situação, mostrando a importância da rotação de culturas.

CONCLUSÕES

As médias de produtividade de MS das plantas de cobertura de inverno no ano de 2020 não apresentaram diferenças significativas entre si devido a rotação antecessora ser similar no ano anterior. Por outro lado, na avaliação de inverno de 2021 houveram diferenças entre as plantas de cobertura devido a inserção na safrinha antes delas de culturas de cobertura outonais na área.

Tabela 2 - Valores médios da MS das plantas de cobertura de inverno cultivadas após as diferentes rotações de cultura no ano de 2021.

Cultura avaliada	Massa Seca (kg.ha^{-1})	Rotação antecessora
R1 – AP BRS 139	3493,33 b	CONS1 – M – Mil
R2 – AP BRS 139	3546,67 b	CONS1 – M – J
R3 – AP BRS 139	5293,33 a	CONS1 – M – LL
R4 – AP BRS 139	4973,33 a	CONS1 – M – Cons2
R5 – AP IAPAR 61	5880 a	RX 330 – F – Mil
R6 – AP IAPAR 61	5293,33 a	RX 330 – F – J
R7 – AP IAPAR 61	5866,67 a	RX 330 – F – LL
R8 – AP IAPAR 61	6773,33 a	RX 330 – F – Cons2
R9 – C SERRANO	4573,33 b	RX610 – M – Mil
R10 – C SERRANO	6346,67 a	RX610 – M – J
R11 – C SERRANO	4520 b	RX610 – M – LL
R12 – C SERRANO	4066,67 b	RX610 – M – Cons2
R13 – CONS2: N+AP+C+EC	5546,67 a	AP-61 – S – Mil
R14 – CONS2: N+AP+C+EC	5533,33 a	AP-61 – S – J
R15 – CONS2: N+AP+C+EC	5600 a	AP-61 – S – LL
R16 – CONS2: N+AP+C+EC	5573,33 a	AP-61 – S – Cons2
CV (%)	19,38	

Médias com letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: REGINATTO (2023).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelo apoio recebido da Fundação Araucária via Termo de Convênio 282/2022 para o NAPI Sudoeste, e ao CNPq pela bolsa de Doutorado em Inovação (DAI), bem como pelo suporte financeiro atual da ITAIPU Parquetec ao desenvolvimento do projeto via ações de Extensão.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

CABREIRA, M. A. F. **Levantamento de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Dois Vizinhos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - UTFPR, Dois Vizinhos, Paraná, 2015.

REGINATTO, M**. Sistema plantio direto orgânico: rotações de culturas e controle mecânico de plantas espontâneas no sudoeste do Paraná**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.

Projeto MapBiomas. **Coleção 2024 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, Acesso em: 25/02/2025. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PLANTAS DE COBERTURA: UM CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE

Paulo Cesar Conceição[1*], Cidimar Cassol[2], Maicon Reginatto[3], Cassieli Lorenzetti[3]
[1] Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Coordenação do Curso de Agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos e-mail *paulocesar@utfpr.edu.br; [2]Pesquisador, CAMP Sementes- Dr em Agronomia- PPGAG-PB; [3]Pesquisador, CAMP Sementes, Dr em Agronomia- PPGAG-PB; [4]Estudante de graduação em Agronomia, UTFPR – Campus Dois Vizinhos

RESUMO

O sistema de plantio direto necessita inserção de plantas de cobertura no sistema de rotação. Avaliamos experimento de longa duração para a seleção de sistemas de produção de milho com plantas de cobertura sob Latossolo Vermelho. O estudo foi baseado em um experimento de longa duração iniciado em 2010, cultivado com sucessão de milho sobre plantas de cobertura hibernais solteiras e consorciadas, e duas doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha^{-1}) em delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. As plantas de cobertura utilizando aveia+ervilhaca (A+E), aveia+ervilhaca+nabo (A+E+N), nabo e fabáceas, proporcionaram ao milho produtividade de 5,8 e 7,0 Mg ha^{-1}, com 68 e 82% da produtividade média (8,6 Mg ha^{-1}) com o uso de N mineral, enquanto sobre sistemas com poáceas, chegou a 40% (3,5 Mg ha^{-1}). As plantas de cobertura promovem incrementos de rendimento da cultura do milho ao longo dos 10 anos.
PALAVRAS-CHAVE: agricultura regenerativa; agricultura sustentável; plantas de cobertura.

INTRODUÇÃO

A utilização de plantas de coberturas possibilita diversos benefícios para os sistemas de cultivo, tais como: a formação de cobertura vegetal para proteção do solo contra erosão, aporte de nitrogênio (no caso das fabáceas), diminuição das plantas espontâneas através do efeito supressor e/ou alelopático, evitando a incidência direta de radiação solar, proporcionando a manutenção da umidade e evitando oscilações de temperatura. O sistema radicular "agressivo" descompacta e estrutura o solo (agregação e aeração), aumentando a infiltração de água. Promovem reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo, sendo mantidos na forma orgânica (na planta) estando menos sujeitos a lixiviação e são disponibilizados (mineralizados) mais lentamente às plantas de acordo com a decomposição da matéria orgânica (CALEGARI, 2004; AMBROSANO *et al*., 2014).

A utilização de plantas de coberturas é fundamental para viabilização do sistema de plantio direto, embora, com início da revolução verde tenha perdido temporariamente sua importância, devido o surgimento e desenvolvimento de máquinas, equipamentos e insumos modernos, foi a sua utilização que promoveu um salto de qualidade na agricultura, tornando-se componente fundamental nos arranjos de sucessão e rotação de culturas, possibilitando a viabilização dos sistemas de cultivos (WILDNER, 2014).

O SPD representa um dos maiores avanços conservacionistas para o sistema de produção em nosso país. No entanto, atualmente passa por um período de fragilidade, associado à ausência da adoção de suas premissas básicas, sejam elas a baixa adição de palhada, rotação de culturas e mínimo revolvimento do solo.

Os princípios do SPD podem ser obtidos de forma eficiente e econômica pela utilização de plantas de cobertura do solo estivais ou hibernais, aproveitando as entre safras das culturas de grãos, dessa forma não há competição com as culturas comerciais, mas sim uma modificação positiva quanto à redução de custo e aumento da rentabilidade.

Objetivou-se realizar uma análise do comportamento ao longo do tempo (10 anos) de sistemas de produção de milho com e sem N mineral em sucessão a plantas de cobertura em condições de clima subtropical.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um experimento de longa duração localizado na estação experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil (25°41'30.9"S 53°05'42.1"W, 530 m de altitude). O clima regional é subtropical úmido (Cfa, classificação de Koppen) com precipitação anual de 2.010 mm (Vieira *et al*., 2018). O solo local é Latossolo Vermelho (Embrapa, 2018), com textura argilosa (773 g kg^{-1} de argila, 224 g kg^{-1} de silte e 3 g kg^{-1} de areia).

O trabalho foi baseado em um experimento de longa duração iniciado no ano de 2010, sendo cultivada com sucessão de milho e plantas de cobertura do solo, sobre duas doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha^{-1}) aplicadas em cobertura na cultura do milho (V4), em área que historicamente vinha sendo utilizada para produção de grãos, porém sem um manejo de solo definido e estabilizado.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. Nas parcelas principais de (5 x 10m), foram testados oito sistemas de plantas de cobertura de inverno: aveia preta (*Avena strigosa*) 90 kg ha^{-1}, ervilhaca comum (*Vicia sativa*) 40 kg ha^{-1}, nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), 15 kg ha^{-1}, tremoço branco (*Lupinus albus)* 100 kg ha^{-1}, centeio (*Secale cereale*) 50 kg ha^{-1}, azevém Comum (*Lolium multiflorum*) 50 kg ha^{-1}, consórcio aveia+ervilhaca 60+40 kg ha^{-1}, aveia+ervilhaca+nabo 60+30+10 kg ha^{-1}. A densidade de semeadura refere-se à quantidade de sementes viáveis. Nas subparcelas (5 x 5m), são aplicadas duas doses de nitrogênio (0, e 180 kg ha^{-1}), em cobertura na cultura do milho (V4), na forma de ureia.

A semeadura das plantas de cobertura ocorreu de forma mecanizada no mês de maio em todos os anos, com espaçamento de 0,17 m entre linhas, para todos os sistemas. Para estas culturas não foram feitas adubações de base e de cobertura e nem aplicações de inoculantes. O manejo de dessecação das plantas de cobertura ocorreu no mês de agosto/setembro com a aplicação de herbicida. A semeadura do milho sobre os resíduos das plantas de cobertura foi realizada com espaçamento de 0,90 m entre linhas para os anos de 2010-2014, passando para 0,45m de 2015-2019. A densidade de semeadura sempre foi estimada para 75.000 plantas ha^{-1}, em todos os anos.

A adubação de base para a cultura do milho nos anos de 2010-2015 foi realizada com aplicação de 250 kg ha^{-1} de fertilizante formulado 0-20-20 (N P_2O_5 K_2O), para uma expectativa de rendimento de 6 Mg ha^{-1}. Para os anos de 2016 e 2019 a adubação foi utilizada para uma expectativa de rendimento de 9 Mg ha^{-1}, sendo realizada com aplicação de 550 kg ha^{-1} de fertilizante formulado 2-20-20 (N P_20_5 K_20) nos anos de 2016 e 2017 e 575 kg ha^{-1} de fertilizante formulado 2-18-18 (N P_20_5 K_20) nos anos de 2018 e 2019

A coleta da biomassa das plantas de cobertura foi realizada todos os anos de acordo com o florescimento das espécies (90 a 110 dias) e de acordo com a época de semeadura do milho (setembro). Utilizou-se um quadro metálico com 0,25 m^2 em dois pontos aleatórios de cada subparcela. Nos tratamentos constituídos por consórcios procedeu-se a separação botânica das espécies a fim de determinar a participação de cada espécie na produção de biomassa total. O material coletado foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, com temperatura de 55 °C +-5 por 48-72 horas até peso constante, determinando a produção de massa seca (MS).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, após submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Skoot Knott a 5% de probabilidade utilizando o programa Sisvar 5.6 (SISVAR, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de massa seca média dos 11 anos não apresentou interação entre plantas de cobertura e as doses de N residual (Tabela 1). Embora interações são verificadas em alguns dos anos de condução (ZIECH 2016, CASSOL 2019), onde ocorre maior produção de MS na presença de N mineral para os

sistemas com poáceas, mas podendo afetar negativamente a fixação biológica de N das leguminosas, em especifico nesse estudo a cultura do tremoço, afetando o desenvolvimento e produção de massa seca.

Ao longo dos 10 anos é observado grandes variações de produção de MS para uma mesma espécie, estas oscilações ocorrem tendo em vista a alta dependência das condições climáticas, fitossanitárias, das particularidades do ano em que é realizado o cultivo e do seu próprio efeito do sistema de cultivo ao longo do tempo.

Tabela 1. Produção de MS de plantas de coberturas hibernais durante 10 anos após cultivo de milho com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N

Ano	N	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
						MS (Mg ha^{-1})					
1°	0	3,0	4,0	2,6	2,8	4,1	2,4	2,2	3,0	3,0	
2°	0	4,6	4,4	4,3	3,6	5,4	2,1	3,5	2,5	3,8	
*3°	0	6,1	6,5	5,5	3,1	2,6	3,0	4,6	3,4	4,4	
4°	0	3,9	5,0	5,2	1,9	3,3	2,1	3,8	4,0	3,7	
5°	0	4,3	4,9	3,8	2,2	2,9	2,0	2,6	3,7	3,3	
6°	0	7,1	6,1	6,5	3,2	8,1	2,6	3,7	1,2	4,8	
7°	0	5,7	5,1	4,6	3,0	6,4	2,4	2,5	3,6	4,1	
8°	0	6,1	6,6	6,5	1,7	3,4	2,0	3,5	2,5	4,0	
9°	0	2,8	5,3	4,7	2,1	2,2	1,8	1,0	4,3	3,0	
10°	0	4,5	4,8	4,9	2,8	4,2	1,9	2,0	3,6	3,6	
11°	0	3,6	4,2	7,1	1,6	3,5	1,2	3,0	5,2	3,7	
1°	180	3,0	4,0	2,6	2,8	4,1	2,4	2,2	3,0	3,0	
2°	180	4,8	4,5	4,7	4,0	3,8	2,0	3,6	2,9	3,8	
3°	180	7,2	6,2	5,7	3,5	3,0	3,1	5,4	3,5	4,7	
4°	180	5,0	5,2	5,1	2,3	3,4	2,0	3,2	3,3	3,7	
5°	180	5,2	4,6	4,3	2,3	4,1	2,2	2,4	2,8	3,5	
6°	180	7,8	7,5	6,9	3,7	6,3	2,2	3,8	1,2	4,9	
*7°	180	4,8	4,4	3,9	3,4	4,1	2,4	2,7	3,5	3,7	
8°	180	3,8	6,5	6,9	1,6	3,0	2,4	2,4	2,0	3,6	
9°	180	3,2	4,6	5,6	2,3	3,0	1,9	1,3	4,4	3,3	
10°	180	4,2	5,1	5,2	3,0	4,4	1,8	2,3	2,2	3,5	
11°	180	4,2	3,1	7,3	1,7	3,3	2,6	3,0	4,3	3,7	
Média	0	51,8	56,9	55,7	27,8	46,0	23,4	32,4	37,1	41,4	
	180	53,4	55,7	58,0	30,5	42,6	24,7	32,2	33,2	41,3	
Soma	0	4,7 ns	5,2	5,1	2,5	4,2	2,1	2,9	3,4	3,8 ns	4,0
	180	4,9	5,1	5,3	2,8	3,9	2,2	2,9	3,0	3,8	
	Média	4,8 a	5,1 a	5,2 a	2,6 d	4,0 b	2,2 d	2,9 c	3,2 c		10,9

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott (p≤0,05). ns: não significativo. *; ** significativo a p≤0,05 e p≤0,01 respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço branco

CONCLUSÕES

As plantas de cobertura utilizando aveia+ervilhaca (A+E), aveia+ervilhaca+nabo (A+E+N), nabo e fabáceas, proporcionaram ao milho produtividade de 5,8 e 7,0 Mg ha^{-1}, alcançando 68 e 82% da produtividade média obtida (8,6 Mg ha^{-1}) com o uso de N mineral, enquanto sobre sistemas com poáceas, chegou a 40% (3,5 Mg ha^{-1}).

As plantas de cobertura promovem incrementos de rendimento da cultura do milho ao longo dos 10 anos, o qual foi regulado pela capacidade de fornecimento de N.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelo apoio recebido da Fundação Araucária via termo de Convenio 282/2022 para o NAPI Sudoeste bem como pelo suporte financeiro atual da ITAIPU Parquetec ao desenvolvimento do projeto via ações de Extensão..

BIBLIOGRAFIA

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; & AMBROSANO, G. M. B. Adubação verde na agricultura orgânica. IN: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 507 p, 2014.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura: Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**. Ano XIII. n.80. p.62-70, 2004.

VIEIRA, F. M. C.; MACHADO, J. M. C.; VISMARA, E. D. S.; & POSSENTI, J. C. Distribuições de probabilidade da análise de frequência de chuvas na região sudoeste do estado do Paraná, Brasil. **Revista de ciências agroveterinárias**, 17(2), 260-266. 2018.

WILDNER, L. do P. Adubação verde: conceitos e modalidades de cultivo. IN: LIMA FILHO, O. F. de.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.2, 21 p, 2014.

ZIECH, A. R. D. **Sistema de produção de milho sob adubação nitrogenada e plantas de cobertura do solo**. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PÓ DE ROCHA BASÁLTICA ASSOCIADO A PLANTAS DE COBERTURA E CAMA DE FRANGO SOBRE O TEOR DE P NO SOLO

Monica Carolina Sustakowski[1], Edleusa Pereira Seidel[2*], Maria do Carmo Lana[2], Willian dos Reis[1], Luane Laíse Oliveira Ribeiro[3]

[1] Estudante de doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná; [2]Professora, Universidade Estadual do Oeste do Paraná; [3]Estudante de Pós-doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná; *seideledleusa8@gmail.com

RESUMO

O pó de rocha apresenta baixa solubilidade, necessitando de processos biológicos para aumentar a disponibilidade dos nutrientes. O objetivo do trabalho foi avaliar a associação do pó de rocha com consórcios de plantas cobertura e cama de frango sobre os teores de P no solo durante 24 meses. O delineamento experimental foi DBC em faixas subdivididas com dois fatores adicionais e quatro repetições. As faixas primárias foram três consórcios: aveia+nabo; tremoço+ervilha; aveia+nabo+tremoço+ervilha. As faixas secundárias foram: presença e ausência de cama de frango (6 t ha^{-1}). As subfaixas foram: presença e ausência de pó de rocha (8 t ha^{-1}). Fatores adicionais: testemunha absoluta e testemunha com adubação NPK. As coletas ocorreram aos 6, 12, 18 e 24 meses, na camada de 0,00-0,10 m. A associação pó de rocha + cama de frango + aveia+nabo proporcionou o maior teor de P (32,60 mg dm^{-3}) em menor tempo (15,5 meses).

PALAVRAS-CHAVE: adubos verdes; fertilidade do solo; rochagem; remineralização.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é o elemento com maior restrição em solos tropicais, dada a elevada capacidade de adsorção às partículas de argila do solo, principalmente aos óxidos de ferro e alumínio, tornando o P um dos elementos com menor taxa de aproveitamento na agricultura (Fink *et al*., 2016).

Existem evidências do efeito do silício na dinâmica do P no solo, desta forma, é esperado que a aplicação de materiais contendo Si em sua composição pode aumentar a disponibilidade de P no solo. Na literatura científica estuda-se a utilização de rochas silicatadas (rochagem) (Medeiros *et al*., 2024).

Em relação aos fertilizantes solúveis, a rochagem apresenta vantagens para a agricultura tropical, contudo, a dissolução dos pós de rochas é um processo lento e que depende de fatores como a composição química e mineralógica da rocha, a granulometria do material, o tempo de reação, o pH do solo e a presença de microrganismos atuando no intemperismo (Osterroht, 2003). Nesse contexto, é possível estimular o intemperismo dos minerais através da adição conjunta dos pós de rochas com adubações orgânicas e pela seleção de plantas com maior colonização micorrízica ou com maior produção de ácidos orgânicos.

Diante disso, a hipótese é de que a rochagem reduz a necessidade de doses elevadas de fertilizantes convencionais com o passar do tempo, sendo possível substituir parte dessas fontes convencionais por fontes alternativas, mantendo os teores de P adequados e que quando associada a fatores biológicos do intemperismo a disponibilidade de P é favorecida. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da associação do pó de rocha com consórcios de plantas de cobertura e com cama de frango sobre os teores de P no solo durante 24 meses.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de março de 2021 a maio de 2023 na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando, no município de Entre Rios do Oeste-PR (latitude 24°40'34"S, longitude 54°16'45"O e altitude de 242 m), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon-PR. O clima da região é Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes com tendência de

concentração das chuvas (temperatura média superior a 22ºC), invernos com geadas pouco frequentes (temperatura média inferior a 18ºC) e precipitação média anual de 1.600 a 1.800 mm (Nitsche *et al*., 2019).

O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico (Santos *et al*., 2018), com textura muito argilosa (734,5 g kg^{-1} de argila, 176,74 g kg^{-1} de silte e 88,76 g kg^{-1} de areia). A caracterização química inicial do solo apresentou 25,53 g dm^{-3} de M.O.; 4,88 de pH em $CaCl_2$; 15,59 mg dm^{-3} de P; 5,11 $cmol_c$ dm^{-3} de H+Al; 0,05 $cmol_c$ dm^{-3} de Al; 11,25 $cmol_c$ dm^{-3} de CTC; 59,75% de V% na camada de 0,00-0,10 m.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em faixas subdivididas com dois fatores adicionais e quatro repetições. As faixas primárias foram três consórcios de plantas de cobertura: aveia-preta + nabo-forrageiro (mix 1); tremoço branco + ervilha-forrageira (mix 2); aveia + nabo + tremoço + ervilha (mix 3). As faixas secundárias foram a presença e ausência de cama de frango da dose de 6 t ha^{-1}. As subfaixas foram a presença ou ausência de pó de rocha basáltica na dose de 8 t ha^{-1}. Os fatores adicionais foram: uma testemunha absoluta e uma testemunha com adubação química de um formulado NPK.

A aplicação do pó de rocha (abril/2021) e da cama de frango (abril/2021 e abril/2022) foi realizada de forma manual e sem incorporação ao solo. O pó de rocha utilizado era de origem basáltica e apresentava 51,39% de SiO_2, 0,27% de P_2O_5, 1,18% de K_2O, 14,35% de soma de bases, 100% das partículas menores que 2,00 mm; 81,13% menores que 0,84 mm e 51% menores que 0,30%. A cama de frango era proveniente após o uso de 8 a 10 lotes de frango e apresentava 22,80 e 42,45 g kg^{-1} de P_2O_5, 8,11 e 7,6 de pH e 18,51 e 20,52% de carbono orgânico, respectivamente em cada material aplicado antes dos cultivos de inverno dos anos de 2021 e 2022. Não foi realizada a reaplicação do pó de rocha a fim de avaliar o seu efeito residual.

Posteriormente foi realizada a semeadura direta dos consórcios (maio/2021 e maio/2022). Foi utilizada as seguintes densidades de sementes: 70 kg ha^{-1} de aveia-preta e 4 kg ha^{-1} de nabo-forrageiro (mix 1); 80 kg ha^{-1} de tremoço branco e 60 kg ha^{-1} de ervilha-forrageira (mix 2); e 35 kg ha^{-1} de aveia, 1 kg ha^{-1} de nabo, 20 kg ha^{-1} de tremoço e 15 kg ha^{-1} de ervilha (mix 3). Ao atingir o estádio de florescimento os consórcios foram manejados com rolo faca (agosto/2021 e agosto/2022).

As testemunhas foram mantidas em pousio, realizando o controle das plantas voluntárias sempre que necessário. Na testemunha com adubação química, esta foi realizada na semeadura das culturas de verão e a dose foi definida seguindo a recomendação do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (Pauletti e Motta, 2019), de acordo com a análise química do solo e com as exigências de cada cultura.

Para a safra de verão 2021/2022 foi implantada a cultura do milho (outubro/2021) e nas parcelas referentes à testemunha com adubação foi utilizado 250 kg ha^{-1} do formulado 12-24-12 (N-P_2O_5-K_2O). Para a safra de verão 2022/2023 foi realizado o cultivo com a cultura da soja (outubro/2022) e para a adubação química na testemunha de adubação foi utilizado 250 kg ha^{-1} do formulado químico 02-20-18 (N-P_2O_5-K_2O).

As coletas de solo foram realizadas antecedendo a semeadura das culturas de verão (outubro de 2021 e 2022) e posteriormente à colheita das mesmas (abril de 2022 e 2023), correspondendo a 6, 12, 18 e 24 meses após a aplicação do pó de rocha. A amostragem foi realizada na camada de 0,00-0,10 m com uma pá de corte, coletando-se três amostras por subfaixa, resultando em uma amostra composta. O teor de P foi determinado pelo método Bray-1, utilizando mistura de HCl (0,025 N) e NH_4F (0,03 N) (Bray e Kurtz, 1945).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, a 5% de significância para o teste F. Quando constatados efeitos significativos para os tempos de avaliação foi realizada análise de regressão, sendo escolhido o modelo que melhor se ajustasse ao fenômeno investigado. Quando detectado efeitos significativos dos tratamentos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os tratamentos e os tempos de avaliação. Os teores de P seguiram comportamentos explicados por equações lineares e polinomiais de 2º grau (Figura 1). Ao se considerar as

equações lineares, o maior teor de P até os 24 meses foi obtido pelo tratamento com pó/com cama/mix 2 com 41,41 mg dm^{-3} (Y=13,43+1,1657x) e ao se considerar as equações de 2º grau o maior teor de P foi obtido com o tratamento com pó/com cama/mix 1 aos 15,5 meses com teor de 32,60 mg dm^{-3} (Y=13,049+2,5199x-0,0812x^2).

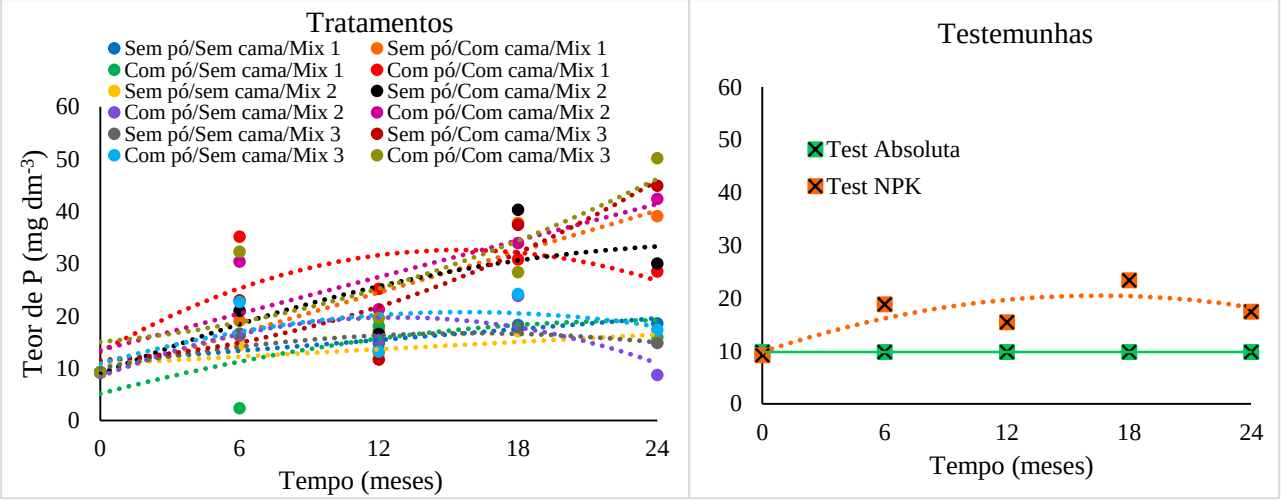


Figura 1. Teor de P (mg dm^{-3}) na camada de 0,00-0,10 m em função das associações entre pó de rocha, cama de frango e consórcios de plantas de cobertura, bem como para as testemunhas, ao longo de 24 meses de avaliação.

Os tratamentos mantiveram os teores de P em níveis elevados e o tempo de incubação apresentou um efeito importante no comportamento do P, sobretudo quando foi utilizado o pó de rocha em associação com a cama de frango e com os consórcios de plantas de cobertura.

Também é possível verificar que todos os tratamentos ou foram semelhantes ou apresentaram valores superiores ao obtido na testemunha com adubação NPK, indicando que a utilização seja do pó de rocha, da cama de frango ou dos consórcios pode ser utilizada no manejo do P no solo de forma tão eficiente quanto a adubação NPK. É possível também que nos tratamentos onde houve maior extração de P tenha ocorrido a liberação de parte do P que estava adsorvido aos coloides do solo para a solução, ficando disponível para as plantas e aumentando a ciclagem do nutriente no sistema.

Os teores mais elevados de P nos tratamentos que envolveram a utilização do pó de rocha pode ser decorrente da composição química do material, visto que o mesmo apresentou 51,39% de SiO_2 e com a liberação do Si na solução do solo ocorre a redução da adsorção do ânion fosfato, pois o Si compete pelos mesmos sítios de adsorção do solo (GILLMAN *et al.*, 2002). Dessa forma, o Si pode ter saturado os locais onde o P poderia ser adsorvido, mantendo-o disponível para a extração.

Além disso, a cama de frango utilizada também atuou como uma fonte de P ao solo, visto que ao total foram aplicados 136,80 kg ha^{-1} de P_2O_5 na safra 2021 e 254,70 kg ha^{-1} na safra 2022. Dessa forma, o comportamento do P nos tratamentos que receberam aplicação de cama de frango também se deve às quantidades do nutriente que o material liberou ao solo.

Esses resultados também podem estar ligados a liberação de ácidos orgânicos a partir das raízes e da decomposição dos resíduos das plantas, bem como pela decomposição da cama de frango e pela atividade de microrganismos associados a ela. Esses ácidos orgânicos podem interagir com a fase sólida e competir com o P pelos sítios de adsorção e/ou podem bloquear previamente esses sítios, além de ocasionar maior complexação com os íons de Al e Fe, reduzindo a chance de precipitação do P (Guppy *et al.*, 2005).

Além disso, os ácidos orgânicos podem ter agido sobre as partículas do pó de rocha, solubilizando-o e liberando parte das frações de Si, que competiu com os sítios de adsorção de P no solo e o manteve disponível por mais tempo na solução, e das pequenas frações de fosfato presente na rocha (0,27% de P_2O_5), acelerando o processo de solubilização do material. Esses compostos tem sido reconhecidos como promotores do intemperismo de silicatos através do aumento das taxas de hidrólise dos minerais (LI *et al*., 2014).

CONCLUSÕES

A associação do pó de rocha com a cama de frango e com o consórcio de aveia + nabo proporcionou o maior teor de P (32,60 mg dm^{-3}) em menor período de tempo (15,5 meses).

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de estudos durante a realização da pesquisa e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. **Soil Science**, v. 59, n. 1, p. 39-45, 1945.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 369-379, 2016.

GILLMAN, G. P.; BURKETT, D. C.; COVENTRY, R. J. Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. **Applied Geochemistry**, v. 17, n. 8, p. 987-1001, 2002.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 43, n. 2, p. 189-202, 2005.

LI, J.; ZHANG, W.; LI, S.; LI, X.; LU, J. Effects of citrate on the dissolution and transformation of biotite, analyzed by chemical and atomic force microscopy. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 101-108, 2014.

MEDEIROS, F. de P.; DE CARVALHO, A. M. X.; RAMOS, C. G.; DOTTO, G. L.; CARDOSO, I. M.; THEODORO, S. H. Rock powder enhances soil nutrition and coffee quality in agroforestry systems. **Sustainability**, v. 16, n. 354, 2024.

NITSCHE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. 1. ed. Londrina, PR: IAPAR, 2019. 210 p.

OSTERROHT, M. V. Rochagem para quê? **Revista Agroecologia Hoje**, n. 20, p. 12-15, 2003.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Brasília: SBCS, 2019.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. Á. De.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; ARAÚJO FILHO, J. C. de.; OLIVEIRA, J. B. de.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE PLANTAS DE COBERTURA SOB DOSES DE N E GESSO

Gabriela Vargas Schmoller[1], Geovana Beatriz Mandriki[2], Julia Maria Longo[3], Guilherme Ramos Santos[4], Paulo Cesar Conceição[4]

[1]Graduanda de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos, e-mail: vargasgabischmoller@gmail.com; [2] Graduanda de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos; [3]Graduanda de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos; [4]Graduando de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos; [5]Professor do Programa de Pós-graduação em Agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinho

RESUMO

O interesse pela adoção de plantas de cobertura tem aumentado a cada ano. Ao mesmo tempo o alto custo de fertilizantes tem sido um tema preocupante para os agricultores. Este estudo analisou o efeito nas plantas de cobertura sob doses de nitrogênio (N) em experimento de longa duração conduzida há 15 anos, e também com associação do uso de gesso. O estudo foi feito na UTFPR-DV, com faixas de 9 plantas de cobertura e também um mix de todas elas. Os resultados mostraram que a produção de MS variou de 946 a 4653 kg há para as culturas testadas. Na média geral os mix produziram praticamente 4000 kg, independente da dose de N ou uso do gesso. Por outro lado as ervilhacas foram as que tiveram menores produtividades de MS. Os resultados demonstram a capacidade das plantas de cobertura produzirem sob condições diferenciais.

PALAVRAS-CHAVES: plantas de cobertura; matéria seca; fertilização; gesso agrícola.

INTRODUÇÃO

As plantas de cobertura consistem em espécies plantadas com a finalidade de proteger e melhorar a estabilidade do solo, reduzindo erosão, aumentando infiltração de água, suprimir pragas e doenças e, em algumas situações, aumentando a matéria orgânica. A partir dessas plantas, a agricultura sustentável visa o controle da erosão, aumento da retenção e ciclagem de nutrientes, aumento do ciclo biológico do solo, tornando-as numa opção eficaz para a melhoria do solo (Carvalho e Vanolli, 2022).

Além de proteger o solo e o ambiente, as plantas de cobertura também têm um papel importante em melhorar as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo. Elas ajudam na troca de nutrientes, fazendo com que elementos importantes sejam reaproveitados ou não perdidos pela erosão. A cobertura vegetal favorece a atividade dos microrganismos do solo, assim, contribuindo para a melhoria e a fertilidade do solo. Também, essas plantas servem como um bloqueio que trava o crescimento de ervas daninhas, assim usando menos agrotóxicos e ajudando a cuidar de forma sustentável das outras culturas que vêm depois.

Ademais, as plantas de cobertura também contribuem para a redução da utilização de insumos químicos, tais como fertilizantes sintéticos e herbicidas. Velhas conhecidas da agricultura, as leguminosas são capazes de favorecer a fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico, o que torna o solo mais rico em um dos nutrientes mais essenciais para o desenvolvimento das plantas. As gramíneas, por sua vez, possuem raízes bastante profundas que favorecem a estruturação do solo e aumentam a infiltração da água, prevenindo a compactação do solo e reduzindo o risco de erosão. Assim, as plantas de cobertura representam uma alternativa que, além de fomentar a produtividade a longo prazo dos sistemas de cultivo, preservam o meio ambiente (Parizotto *et al*., 2023).

A produção de matéria seca pelas plantas de cobertura é uma questão chave quando da sua adoção. Pesquisas demonstram que as espécies de plantas de cobertura apresentam grande variabilidade no que se refere ao volume de biomassa produzido. Portanto, o mix correto de planta de cobertura é uma consideração chave na maximização dos benefícios agronômicos (Silva, 2015).

Em vista disso, este trabalho tem como objetivo avaliar o rendimento de matéria seca de plantas de cobertura hibernais, sob um experimento de longa duração conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná no Campus Dois Vizinhos. Visa contribuir para informações da importância do plantio de plantas de cobertura e sua produtividade de matéria seca.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi realizado na Estação Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no campus de Dois Vizinhos, safra 24/25, Latitude: -25.7346, Longitude: -53.0585 25° 44' 5" Sul, 53° 3' 31" Oeste e 556m de altitude. O clima predominante na região é do tipo cfa, clima subtropical temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão A área com dimensões totais de 45 metros de comprimento por 41 metros de largura foi dividida em três blocos de 15 metros de comprimento cada, e cada bloco continha três faixas, totalizando 99 parcelas experimentais de 5x5m.

Os tratamentos foram aplicados da seguinte forma: No sub-bloco "0N" não houve aplicação de nitrogênio. Já no sub-bloco "180N", aplicaram-se 180 kg de nitrogênio por hectare na cultura principal que é o milho. No sub-bloco denominado "Gesso", foram aplicados 180 kg de nitrogênio por hectare, sendo que esse sub-bloco já havia recebido aplicação de gesso em 2021. Esse experimento vinha sendo conduzido desde 2010 com espécies estivais e de 2020 a 2024 receberam sempre as mesmas espécies em toda área visando a normalização dos efeitos das espécies de cobertura anterior. Em 2024 foram implantadas espécies de plantas de cobertura desse estudo que foram: Aveia BRS 139, Aveia IPR 61, Ervilha Sulina, Ervilha IPR, Tremoço Branco, Ervilhaca Comum, Ervilhaca Peluda, Nabo Pé de Pato, Nabo IPR 116 e um mix contendo essas espécies. A semeadura foi efetuada com semeadora de grãos miúdos em espaçamento de 0,17 cm.

Para a determinação da massa seca das plantas de cobertura, coletou-se a parte aérea das plantas em uma área de 0,25 m², na data 17/08/2024, quando as plantas possuíam 108 dias, utilizando-se um quadro metálico posicionado aleatoriamente dentro de cada parcela experimental. As amostras foram secas em estufa a 45°C por aproximadamente 48 horas, até atingirem peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas, e a massa seca por hectare foi calculada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados revelaram que a dose de 180 kg ha^{-1} de N apresentou o maior valor para o Tremoço branco (TB), onde a produtividade de massa seca foi de 4653,33 kg $há^{-1}$, com base em artigos, a produção pode variar de 3000 a 4500 kg/ha, então a produtividade de matéria seca desta cultivar foi significativamente positiva. Adicionalmente, os resultados envolvendo gesso + 180 kg ha^{-1} de N também resultou em um valor positivo para o MIX com um valor médio de 3986,67 e para a Aveia 139 (AV) com 3680,00 de produtividade média, porém a produtividade considera adequada é entre 4000 a 6000 kg/ha para essa cultivar, ou seja, apresentou uma baixa produtividade.

No entanto, uma vez que a mesma dose de gesso + 180 kg/ha^{-1} de N apresentou 1960,00 de produtividade média na cultivar do Tremoço Branco (TB), o valor de 180 kg/ ha^{-1} de N foi o menor no MIX 3706,67 e na cultivar da Aveia 139 (AV) com uma média de 3480,00 kg/ha^{-1}. É de grande importância levar em consideração variáveis, como presença do gesso e condições do solo para interpretar mais adequadamente os impactos das diferentes doses de nitrogênio.

Tabela 1: Quantidade de massa seca de plantas de cobertura em diferentes aplicações de nitrogênio (0 e 180 kg ha^{-1}) e na presença de gesso.

Tratamentos	AV	AE	ES	EI	TB	EC	EP	NP	NI	MIX
0 N	2453,3	2186,7	2973,3	2133,3	3400,0	1440,0	946,7	3546,7	1893,3	4266,7
180 N	3480,0	1413,3	2040,0	1626,7	4653,3	1706,7	853,3	3346,7	2413,3	3706,7
180 N + Gesso	3680,0	2120,0	3280,0	1760,0	1960,0	1720,0	1186,7	3506,7	1653,3	3986,7

Aveia BRS 139 (AV); Aveia IAPAR 61 (AE); Ervilha Sulina (ES); Ervilha IPR (EI); Tremoço Branco (TB); Ervilhaca Comum (EC); Ervilhaca Peluda (EP); Nabo Pé de Pato (NP); Nabo IPR 116 (NI) e um mix composto de proporções iguais de todas as 9 espécies.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo mostram que a aplicação de nitrogênio na cultura do milho, mesmo no longo prazo não afeta a produtividade da planta de cobertura sucessora, uma vez que a dose de 180 kg ha de N não se diferenciou da dose Zero N. No entanto, os resultados também apontam para a complexidade das interações entre os fatores nutricionais e ambientais, como a presença de gesso e as condições do solo, que podem influenciar significativamente os efeitos do nitrogênio.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelo apoio recebido da Fundação Araucária via Termo de Convenio 282/2022 para o NAPI Sudoeste bem como pelo suporte financeiro atual da ITAIPU Parquetec ao desenvolvimento do projeto via ações de Extensão.

BIBLIOGRAFIA

SILVA, Antonia Rosimeire da Cruz. **Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em plantas de cobertura do solo e meloeiro em sistemas de cultivo.** 2015. 82f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2015.

PARIZOTTO, Cirio *et al*. Plantas espontâneas, aporte de matéria seca e rendimento de grãos de milho e soja em sistemas de produção sustentável e convencional. **Agropecuária Catarinense**, v. 36, n. 3, p. 34-40, 2023.

CHERUBIN, Maurício Roberto *et al*. **Guia prático de plantas de cobertura: espécies, manejo e impacto na saúde do solo**. 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

RENDIMENTO DE MATÉRIA SECA DO MILHO SOB EFEITO DE PLANTAS DE COBERTURA, DOSES DE N E GESSO

Julia Maria Longo[1], Gabriela Vargas Schmoller[2], Geovana Beatriz Mandriki[3], Paulo Cesar Conceição[4]
[1] Estudante de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos, e-mail: julialongo@alunos.utfpr.edu.br; [2]Estudante de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos; [3] Estudante de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos; [4] Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Coordenação do Curso de Agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos

RESUMO

A adubação nitrogenada é um dos aspectos que mais influencia a produção de matéria seca e produtividade de grãos do milho. Ela pode ser fornecida de forma química ou via reciclagem de nutrientes pela planta antecessora. O estudo visa avaliar o efeito da adubação nitrogenada no rendimento de massa seca do milho, contribuindo para recomendações mais eficientes no manejo da cultura. O experimento foi conduzido em uma área de 45m × 41m, dividida em três blocos de 15 metros de comprimento, sendo cada bloco aplicado 3 tratamentos de adubação e 11 tratamentos com plantas de cobertura hibernais, totalizando 99 parcelas experimentais. Os tratamentos de adubação consistiram em: 0N, 180N, 180N+Gesso. Os tratamentos de plantas de cobertura foram feitos utilizando Aveia BRS 139, Aveia IPR 61, Ervilha Sulina, Ervilha IPR, Tremoço Branco, Ervilhaca Comum, Ervilhaca Peluda, Nabo Pé de Pato, Nabo IPR 116 e um mix contendo essas espécies uma análise dos resultados revelou que a aplicação de Gesso proporcionou o maior rendimento de massa seca, seguida pelo tratamento 180N, enquanto a ausência de adubação resultou em menores valores. Esses resultados demonstram a importância da adubação nitrogenada e da utilização de sulfato de cálcio para o aumento da produtividade, contribuindo para melhores estratégias de fertilização na cultura do milho.
PALAVRAS-CHAVE: milho; adubação nitrogenada; massa seca; gesso; produtividade.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é uma das culturas mais cultivadas no mundo, sendo fundamental para a alimentação humana e animal, além de ter grande importância econômica. Para alcançar altas produtividades a nutrição adequada da planta é essencial, o nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais exigidos pelo milho, influenciando diretamente o crescimento e a produção de biomassa (FAGERIA *et al*., 2010).

A adubação nitrogenada pode afetar significativamente o rendimento da massa seca da cultura, pois o nitrogênio participa de processos como a fotossíntese, a formação de proteínas e o desenvolvimento vegetativo (TAIZ *et al*., 2017). No entanto, doses excessivas ou insuficientes de nitrogênio podem comprometer o aproveitamento dos nutrientes pela planta e resultar em perdas ambientais, como a volatilização de amônia e a lixiviação de nitratos (CANTARELLA *et al*., 2003).

Diante disso, é importante avaliar o efeito de diferentes doses de uréia sobre o rendimento da massa seca do milho, buscando determinar a dose mais eficiente para o desenvolvimento da cultura. Estudos indicam que doses moderadas de nitrogênio podem maximizar a produção de biomassa, enquanto doses muito altas nem sempre resultam em ganhos proporcionais (SANGOI *et al*., 2011).

Este estudo tem como objetivo avaliar o impacto de diferentes tratamentos no rendimento de massa seca do milho, contribuindo para o manejo mais eficiente do nitrogênio e auxiliando na recomendação de doses adequadas para a cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Dois Vizinhos. O mesmo com 45 metros de comprimento e 41 metros de largura, sendo ele

dividido em três blocos de 15 metros de comprimento com nove sub-blocos, resultando em 99 parcelas. Foi utilizado três tratamentos sendo eles 0kg de N, 180N+Gesso e 180kg de nitrogênio, repetido igualmente nos três blocos, como mostrado no croqui.

Os resultados obtidos foram desenvolvidos em várias etapas, sendo elas respectivamente:

- A primeira etapa foi a implantação da cultivar no campo sendo realizada com o plantio direto;
- A segunda etapa foi realizada a aplicação do Nitrogênio (N) nos sub-blocos, realizando a marcação nos seus devidos limites para a aplicação correta, sendo realizada na vertical para que não ocorra aplicação em excesso nos outros sub-blocos;
- A terceira etapa foi a coleta de massa seca que é realizada em todas as parcelas, a metragem para coleta do experimento é de a primeira linha sendo a parcela 1 a 9 de 5x5M e as demais são de 5x3M fechando o experimento;
- A quarta e última etapa é a coleta das espigas do milho que é feita em todas as parcelas, porém o método de coleta é linear e feita com 2m.

Importante salientar que nas etapas três e quatros foram realizados algumas atividades, na etapa três após a coleta foi, pesado parcela por parcela após colhida a massa seca, moído no moedor e colocado para secar, pesado após secagem e ser moído no moinho de facas e levado para análise.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados na pesquisa foi que o rendimento de matéria seca kg/Ha, foi variável por conta das doses de tratamento utilizada, sendo possível analisar alguns dados brutos, em média em qual bloco de tratamentos teve mais rendimento, no bloco 2 todos os tratamentos 0N, 180N+Gesso e 180N utilizados desenvolveram melhor rendimento de matéria seca com 25.034,47 kg/ha neste caso a média geral do desempenho. O bloco 1 teve um rendimento favorável de 23.679,81 kg/ha em média e o bloco 3 teve um rendimento médio de 11.822,87 kg/Ha. Foi possível analisar que os dados disponíveis mostram qual bloco com seus tratamentos tiveram a melhor média, porém sem estatísticas, mas desta forma cada um com seus respectivos resultados

É possível também fazer uma média por sub-blocos, sendo eles as colunas com cada tratamento neste caso há 9 tratamentos cada um em seu sub-bloco, sendo eles 0N, 180N+Gesso, 180N, repete três vezes os mesmos, assim o resultado é mais preciso, os dados e resultados disponíveis são médias calculadas sem estatísticas para um resultado mais profissional.

Na tabela 1, está representado os resultados obtidos com a ajuda das culturas de plantas de cobertura implantadas anteriormente na área, portanto é de grande importância ressaltar os resultados obtidos anteriormente.

Tabela 1. Qualidade de massa seca do milho em diferentes doses de N e gesso, após plantas de cobertura.

TRATAMEN	0N	180+GESSO	180N
MÉDIAS	20518,10	21764,52	21587,87

CONCLUSÕES

Conclui-se que apesar dos resultados obtidos, é possível ver que a adubação nitrogenada e o uso de gesso influenciam o rendimento da massa seca do milho. A análise por sub-blocos indicou diferença nos tratamentos, reforçando a importância de avaliar a resposta da cultura em diferentes condições. Embora os dados não tenham sido analisados estatisticamente, eles ajudam a entender o impacto das práticas de

fertilização. Assim, a adubação correta e o uso de plantas de cobertura podem contribuir para um manejo mais eficiente do milho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelo apoio recebido da Fundação Araucária via termo de Convênio 282/2022 para o NAPI Sudoeste bem como pelo suporte financeiro atual da ITAIPU Parquetec ao desenvolvimento do projeto via ações de Extensão.

BIBLIOGRAFIA

SAMPAIO, Italo MG *et al*. Productive and physiological responses of basil to nitrogen fertilization. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 335-340, 2021.

COSTA, MCG; VITTI, Godofredo César; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH3 de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** , v. 631-637, 2003.

SANGOI, Luís *et al*. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 609-616, 2011.

CANCELLIER, Leandro Lopes *et al*. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 139-148, 2011.] DOS SANTOS, Weder Ferreira *et al*. Eficiência e resposta ao uso do nitrogênio em genótipos de milho para rendimento de proteína. 2016.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUTIVIDADE DA CENOURA APÓS DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS

Jéssica Maria Ceronato[1], Anna Cecília Ferreira Stremel, Horácio Manfrin Mazero[3], Rhaiany Vitoria Oliveira Almeida[1], André Carlos Auler[4*]

[1]Graduanda em Agronomia, UFPR, [2]Mestranda(o) PPG em Ciência do Solo, UFPR[2], [3]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Professor, UFPR, e-mail: auler@ufpr.br

RESUMO

O sistema de plantio direto apresenta vários benefícios ao solo e às culturas de sucessão, como a ciclagem de nutrientes. O objetivo deste experimento busca comparar a produção da cenoura no SPDH com diferentes plantas de cobertura em relação ao SC (Sistema Convencional), avaliando seus impactos positivos. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Canguiri, sob delineamento de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdividida de 3x2 m com dois tratamentos adicionais, com três repetições totalizando 39 parcelas. Foram semeadas espécies vegetais de cobertura e tratamentos de sistema convencional e plantas espontâneas. Os dados foram avaliados em dados de massa fresca (MF) de raiz, produção (t/ha), diâmetro e comprimento de cenouras e submetidos a análise estatística. Os resultados indicaram que apenas o comprimento da cenoura apresentou diferença estatística nos tratamentos. Segundo o teste de Tukey, a maior média de comprimento foi na parcela com a mucuna (16,28 cm).

PALAVRAS-CHAVE: agricultura conservacionista; manejo do solo; horticultura; adubação verde.

INTRODUÇÃO

A agricultura familiar representa 84% do total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros e ocupa uma área um pouco maior que 80,3 milhões de hectares, o que representa 24,3% da área total dos estabelecimentos rurais brasileiros (SCHNEIDER; CASSOL, 2013). Por este motivo exerce um papel fundamental no desenvolvimento social e no crescimento equilibrado do país. Neste contexto, temos os sistemas de cultivo de hortaliças que fazem parte da agricultura familiar, classificados em Sistema Convencional (SC) e Sistema de Plantio Direto (SPD).

O preparo convencional do solo pode ser definido como o revolvimento de camadas superficiais para reduzir a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água (SANTIAGO; ROSSETTO, 2007), porém esta prática se utilizada por muitos anos pode levar a sérios problemas (GABRIEL FILHO *et al*., 2000), pois ao se revolver o solo, ocorre alteração da agregação, dispersando as argilas, que retém a maior parte dos nutrientes necessários às plantas, facilitando o seu arraste pela ação da chuva e do vento, causando erosão (WÜRSCHE; DENARDIN, 1980).

Buscando resolver este problema, considera-se a possibilidade de adoção do SPD, uma técnica agrícola sustentável, capaz de reduzir as ações nocivas da erosão do solo, melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e mitigar os efeitos provocados pelas emissões de gases de efeito estufa, incrementar a biodiversidade e contribuir positivamente para o ciclo hidrológico (VALLE, 2015).

Neste contexto surge o SPDH desenvolvido pela Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), que consiste em uma série de práticas que trazem conforto para as plantas. A ideia principal é manter o solo sempre protegido com palhada, utilizando plantas de cobertura para formar biomassa. O solo é revolvido apenas na linha de plantio e o produtor também deve praticar a rotação de culturas.

Para Alvarenga *et al*. (1995) e Campos *et al*. (1995), a proteção da superfície do solo com resíduos vegetais é o manejo mais recomendado para a proteção e a conservação do solo, pois minimiza as perdas de

solo por erosão devido à diminuição do impacto das gotas de chuva, reduzindo o escoamento e o selamento superficial do solo.

A adoção de rotação de culturas é uma das alternativas para diminuir os problemas de compactação do solo no SPD. Para isso, as culturas selecionadas para rotacionar devem possuir elevada biomassa, principalmente, do sistema radicular. Sistemas radiculares abundantes, profundos e agressivos melhoram a qualidade do solo, propiciando maior disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes para as plantas (Monteiro *et al*., 2019).

Dos benefícios que o SPDH pode proporcionar é a redução nas enxurradas em 90% e 70% nas perdas de solo, economia de água em culturas irrigadas de 90%, diminuição de 75% da mecanização, regulação térmica do solo que a palhada proporciona, maior quantidade de matéria orgânica e atividade microbiana, menor dispersão de doenças e menor quantidade de plantas daninhas (LIMA, MADEIRA, 2013).

O objetivo deste estudo foi avaliar a produção de cenoura, após cultivo de plantas de cobertura em SPDH, em comparação ao sistema convencional de cultivo (com revolvimento e uso de canteiros).

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Canguiri (25º 23’ sul, 49º 08’ oeste), no município de Pinhais-PR. Em um solo Cambissolo Háplico Distrofico Tb típico, com relevo suave, com textura argilosa. O clima da região é caracterizado como subtropical úmido (Cfb) (Alvares *et al*., 2013).

O ensaio foi conduzido sob delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, sendo 12 plantas de cobertura mais dois tratamentos controle: plantio convencional com intenso revolvimento para preparo de canteiros; e cultivo sem revolvimento e sem plantas de cobertura, apenas uso de vegetação espontânea. As plantas de cobertura semeadas em diferentes épocas (15/12/23, 16/01/24, 23 e 27/02/24) foram: o gergelim *(Sesamum indicum*), Crotalária (*Crotalaria breviflora*); mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*); feijão de porco (*Canavalia ensiformis*); feijão guandu anão (*Cajanus cajan*); trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*); milheto (*Pennisetum glaucum*); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*); painço (*Panicum miliaceum*), mix de milheto, trigo mourisco e crotalária. A semeadura foi realizada de forma manual, em linhas de semeadura espaçadas em 22,5 cm. As densidades de semadura utilizadas foram de 1,5 vezes o recomendado. Previamente a semeadura, as parcelas foram adubadas com cama de frango (5 Mg ha^{-1}). O cultivo foi mantido sob irrigação por aspersão convencional, duas vezes ao dia forncendo lâminas de irrigação entre 4 e 7 mm h^{-1}.

Em março de 2024, foi semeada a cultura da cenoura (daucus carota), de duas variedades, Nantes e Brasília da Topseed com espaçamento de 10x4 cm, ajustadas com raleio 3 semanas após o plantio. A adubação foi realizada conforme a necessidade da cultura e com base na análise de solo além de realizadas aplicações de herbicidas e inseticidas sempre que havia necessidade.

Quando as plantas atingiram potencial de produção comercial, as cenouras foram colhidas manualmente no dia 31/07 e analisadas em laboratório em: dados de massa fresca (MF) de raiz, comprimento, diâmetro e produtividade por hectare das cenouras.

Foram verificadas as pressuposições de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Atendidas as pressuposições, foram feitos os testes F, aplicando o teste de Tukey para comparações múltiplas. Todas as análises foram realizadas por meio do software estatístico R 4.1 (R CORE TEAM, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As diferentes plantas de cobertura (SPDH) e sua ausência (SC) não influenciaram significativamente nas variáveis de diâmetro (mm) e produtividade (t/ha) da cenoura, porém no comprimento da cenoura a

Mucuna apresentou maior média, de 16,28 cm, quando comparado ao feijão de porco e ao sorgo (TABELA 1).

Tabela 1. Avaliação da produtividade de cenouras cultivada sob plantas de cobertura em SPDH.

Tratamento	Comprimento (cm)	Diâmetro (mm)	Produtividade (t/ha)
Crotalária	ab 13.87	a 32.59	a 126.24
Feijão de Porco	c 8.66	a 31.58	a 171.38
Gergelim	ab 12.74	a 29.22	a 114.28
Guandu Anão	ab 13.52	a 30.42	a 122.03
Milheto	ab 12.57	a 29.48	a 112.83
Mix	ab 12.54	a 31.78	a 103.51
Mucuna	a 16.29	a 30.99	a 151.46
Painço	ab 13.99	a 30.05	a 117.89
Sorgo	bc 12.31	a 30.12	a 106.95
Trigo Mourisco	ab 15.43	a 31.86	a 142.26
Vegetação Espontânea	ab 14.29	a 39.69	a 148.03
SC[1]	ab 13.55	a 32.24	a 115.16

[1]Sistema convencional, tratamento controle. Médias seguidas de mesma letra não diferente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Favero *et al*. (2001), ao analisarem as modificações nas populações de plantas espontâneas na presença de adubos verdes como feijão-de-porco, feijão-bravo-do-ceará, mucuna-preta, lab-lab e guandu, destacaram a mucuna-preta pela sua superior capacidade de recobrimento do solo e supressão das plantas espontâneas, atingindo 100% de cobertura aos 84 dias após a emergência. Neste experimento, utilizou-se a variedade da mucuna cinza, que, apesar de ser diferente da mucuna-preta estudada por Favero *et al*. (2001), pode apresentar efeitos semelhantes na cobertura do solo e na melhoria das condições edáficas. Porém, as variações entre as cultivares podem influenciar nos resultados, potencializando ou reduzindo seus impactos no desenvolvimento da cultura da cenoura. Ainda assim, o possível aumento no comprimento das cenouras, podem estar relacionados à capacidade da mucuna de favorecer a estruturação do solo e a disponibilidade de nutrientes.

Comparando os tratamentos do SPDH com o Sistema Convencional, não há diferença significativa na produtividade da cenoura. Sendo assim, adotar o SPDH apresenta vários benefícios, garantindo uma cobertura de solo e evitando a perca de solo por erosão, aumento de matéria orgânica, regulação térmica do solo proporcionada pela palhada, diminuição da mecanização em 75%, controle de plantas daninhas (LIMA, MADEIRA, 2013).

CONCLUSÕES

Com base nas análises deste experimento, foi possível observar que o SPDH pode ser uma alternativa eficiente ao SC na produção de hortaliças, sem influenciar na produtividade da cultura. A comparação entre os tratamentos indicou que, para a maior parte das variáveis avaliadas, os rendimentos foram semelhantes nos dois sistemas. Embora algumas variações tenham sido observadas nos diferentes tratamentos, como no caso da mucuna, os resultados sugerem que o SPDH pode ser utilizado para garantir altos índices de produtividade. Além do sistema mostrar-se vantajoso em termos de sustentabilidade, ao conservar o solo e promover práticas agrícolas mais ecológicas

AGRADECIMENTOS

À Capes, ao CNPq e a UBA pela concessão das bolsas de estudos. À Fundação Agrisus pelo financiamento do Projeto (PA 3698/23). Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento da experimento.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G**. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

ALVARENGA, R. M.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J**. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 30, p. 175-185, 1995.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C**. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 19, p. 121-126, 1995.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. da. **Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1355-1362, nov. 2001.

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. S.; STROHHAECKER, L.; HELMICH, J. J. **Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.

LIMA, C. E. P.; MADEIRA, N. R. **As múltiplas economias do SPD em hortaliças.** A Granja, Porto Alegre, v. 69, n. 776, p. 95-97, ago. 2013.

MONTEIRO, P. F. C.; ANDRADE, A. P.; AIRES, R. F.; DE CARLI TOIGO, M**. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos e químicos do solo e na produtividade da soja.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v. 25, n. 3, p. 179-194, 2019.

MERCANTE, F. M. *et al***. Fixação biológica de nitrogênio em adubos verdes.** *In:* FILHO, O. F. de L. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014. p. 307-334.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Preparo Convencional**. AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2007.

SILVA, A. G. de B. *et al*. Desempenho agronômico de mucuna-verde em diferentes arranjos espaciais. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 46, n. 6, p. 603- 608, jun. 2011.

SCHNEIDER, S.; CASSOL, A. **A agricultura familiar no Brasil.** Série Documentos de Trabalho, n. 145, 2013.

VALLE, D. **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira.** Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 144 p., 2015.

WÜRSCHE, W.; DENARDIN, L. E. **Conservação e manejo dos solos** - I. Planalto Rio-grandense. Considerações gerais. Circular Técnica Nacional de Pesquisa do Trigo, Passo Fundo, n. 2, p. 1-20, 1980.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUTIVIDADE DA ERVILHA APÓS DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS

Jéssica Maria Ceronato[1], Anna Cecília Ferreira Stremel[2], Querolem Maria de Jesus[3], Horácio Manfrin Mazero[4], André Carlos Auler[5*]

[1]Graduanda em Agronomia, UFPR, [2]Mestranda PPG em Ciência do Solo, UFPR, [3]Graduanda em Agronomia, UFPR, [4]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [5]Professor, UFPR, e-mail: auler@ufpr.br

RESUMO

O sistema de plantio direto apresenta vários benefícios ao solo e às culturas de sucessão, como a ciclagem de nutrientes. O objetivo deste experimento busca comparar a produção da ervilha no SPDH com diferentes plantas de cobertura em relação ao SC (Sistema Convencional), avaliando seus impactos positivos. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Canguiri, sob delineamento de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdividida de 3x2 m com dois tratamentos adicionais, com três repetições totalizando 39 parcelas. Foram semeadas algumas espécies vegetais de cobertura e os tratamentos adicionais foram o sistema convencional e plantas espontâneas. Os dados foram avaliados em número e massa fresca (MF) de vagens/planta, número e MF de ervilhas/vagem e MF unitária de vagem das plantas de ervilhas e submetidos a análise estatística. Não houve diferenças sobre os atributos de produtividade entre as plantas de cobertura. O uso do SPDH não interferiu na produtividade de ervilha.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura conservacionista; manejo do solo; horticultura; adubação verde.

INTRODUÇÃO

Segundo dados da FAO (2018) cerca de 80% da produção mundial de alimentos provêm da agricultura familiar, no Brasil mais de 80% das explorações agrícolas são do tipo familiar, e, esse cenário brasileiro, permite que o país se destaque como a 8ª maior produtor de alimentos no mundo nesse segmento (SEAD, 2018). Neste contexto temos a produção de hortaliças realizada pela agricultura familiar, que pode ser classificada em SC (Sistema de plantio Convencional) e SPD (Sistema de Plantio Direto)

O plantio convencional corresponde a um preparo de solo intenso, o qual envolve uma ou mais arações e duas gradagens. Neste sistema de manejo os resíduos são incorporados na quase totalidade, deixando a superfície à mercê da ação erosiva das chuvas (ARAÚJO, 2008).

Como vantagem do plantio convencional pode ser mencionado o momento inicial pós preparo, em que a pulverização do solo melhora o contato solo-semente. Este fato facilita a germinação, e no caso da inexistência de um selamento superficial, também facilita a emergência das plântulas (POPINIGIS, 1985), além de propiciar maior controle de plantas daninhas, pelo enterrio das sementes em maiores profundidades, dificultando a emergência das plântulas na superfície, favorecer a uniformização do terreno, o que otimiza o trabalho do maquinário agrícola, e melhorar o aquecimento do solo, no caso de regiões frias (PAULA JÚNIOR E VENZON, 2007).

Porém, para Lima e Madeira (2013), os sistemas agrícolas intensivos, em busca de atender a grande demanda do mercado de hortaliças, apresentam um nível alto de insustentabilidade, uma vez que o revolvimento intensivo e frequente do solo o deixa exposto à erosão; o cultivo destas hortaliças sem a devida rotação de cultura leva a diminuição da fertilidade deste solo, fazendo com que seja necessário a utilização de uma grande quantidade de insumos.

Buscando resolver esta questão, agricultores e pesquisadores têm buscado constantemente por métodos agrícolas mais sustentáveis que minimizem os impactos negativos de práticas agrícolas ao ambiente e melhorem a produtividade das culturas. Nesse sentido, o sistema de plantio direto de hortaliças tem se destacado como uma abordagem promissora (Martinelli *et al*., 2019).

Segundo Lima e Madeira (2013), o Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), segue 3 princípios básicos: revolvimento localizado do solo, diversificação de espécies pela rotação de culturas com inclusão de plantas de cobertura para formação de palhada e a cobertura permanente do solo. É indispensável buscar alternativas para o desenvolvimento de modelos de produções de hortaliças mais sustentáveis e com viabilidade econômica.

O objetivo deste estudo foi avaliar a produção da ervilha grão verde, após cultivo de plantas de cobertura em SPDH, em comparação ao sistema convencional de cultivo (com revolvimento e uso de canteiros).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Canguiri (25º 23' sul, 49º 08' oeste), no município de Pinhais-PR. Em um solo Cambissolo Háplico Distrofico Tb típico, com relevo suave, com textura argilosa. O clima da região é caracterizado como subtropical úmido (Cfb) (Alvares *et al.*, 2013).

O ensaio foi conduzido sob delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, sendo 12 plantas de cobertura mais dois tratamentos controle: plantio convencional com intenso revolvimento para preparo de canteiros; e cultivo sem revolvimento e sem plantas de cobertura, apenas uso de vegetação espontânea. As plantas de cobertura semeadas em diferentes épocas (15/12/23, 16/01/24, 23 e 27/02/24) foram: gergelim *(Sesamum indicum*), Crotalária (*Crotalaria breviflora*); mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*); feijão de porco (*Canavalia ensiformis*); feijão guandu anão (*Cajanus cajan*); trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*); milheto (*Pennisetum glaucum*); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*); painço (*Panicum miliaceum*), mix de milheto, trigo mourisco e crotalária. A semeadura foi realizada de forma manual, em linhas de semeadura espaçadas em 22,5 cm. As densidades de semeadura utilizadas foram de 1,5 vezes o recomendado. Previamente a semeadura, as parcelas foram adubadas com cama de frango (5 Mg ha^{-1}). O cultivo foi mantido sob irrigação por aspersão convencional, duas vezes ao dia fornecendo lâminas de irrigação entre 4 e 7 mm h^{-1}.

Em 18/04/24, foi semeada a cultura da ervilha *(pisum sativum*) da variedade Max 40 da Topseed, com espaçamento de 25 x 10 cm. A adubação foi realizada conforme a necessidade da cultura e com base na análise de solo além de realizadas aplicações de herbicidas e inseticidas sempre que havia necessidade.

Quanto as plantas atingiram potencial de produção comercial, as vagens foram colhidas manualmente no dia 22/07/24. A análise incluiu a contagem de quantidade de vagens por planta, o peso em gramas dessas vagens por planta, quantidade de grãos dentro de cada vagem, o peso das ervilhas e o peso da vagem sem as ervilhas.

Foram verificadas as pressuposições de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Atendidas as pressuposições, foram feitos os testes F, aplicando o teste de Tukey para comparações múltiplas. Todas as análises foram realizadas por meio do software estatístico R 4.1 (R CORE TEAM, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As diferentes plantas de cobertura (SPDH) e sua ausência (SC) não influenciaram significativamente nas variáveis de vagens por planta e gramas por planta. No entanto, o gergelim apresentou a maior média de ervilhas por vagem, com 3,60, quando comparado ao feijão de porco e ao milheto. Além disso, o guandu anão destacou-se com a maior média de gramas de ervilha por vagem, alcançando 1,43 g (TABELA 1).

Comparando os tratamentos do SPDH com o Sistema Convencional, não há diferença significativa na produtividade da ervilha. Sendo assim, adotar o SPDH apresenta vários benefícios, garantindo uma cobertura de solo e evitando a perca de solo por erosão, aumento de matéria orgânica, regulação térmica do solo proporcionada pela palhada, diminuição da mecanização em 75%, controle de plantas daninhas (LIMA,

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MADEIRA, 2013). No entanto, como o sistema SPDH foi implantado há pouco tempo, ainda não foi possível observar grandes diferenças nos resultados, sendo necessário um maior período de adoção para que seus benefícios sejam plenamente evidenciados.

Tabela 1. Avaliação da produtividade de ervilhas cultivada sob plantas de cobertura em SPDH.

Tratamento	Vagens por Planta (nº)	Produção por Planta (g)	Ervilhas por Vagem (nº)	Produção de Vagem (g)	Massa dos grãos (g)
Crotalária	a 4,89	a 14,81	a 1,80	a 3,11	a 0,56
Feijão de Porco	a 4,22	a 16,21	a 1,09	a 2,63	a 0,46
Gergelim	a 6,39	a 27,38	a 3,60	a 4,65	a 1,24
Guandu Anão	a 5,60	a 26,71	a 3,15	a 4,28	a 1,43
Milheto	a 5,16	a 21,97	a 1,66	a 3,67	a 0,66
Mix	a 4,50	a 18,68	a 1,92	a 3,69	a 0,53
Mucuna	a 5,33	a 17,42	a 1,68	a 3,47	a 0,54
Painço	a 5,28	a 19,72	a 2,66	a 3,67	a 0,72
Sorgo	a 4,44	a 19,32	a 2,57	a 3,04	a 0,96
Trigo Mourisco	a 5,44	a 22,99	a 3,51	a 4,16	a 1,46
Vegetação Espontânea	a 6,25	a 23,22	a 3,47	a 4,39	a 1,23
SC[1]	a 7,22	a 37,91	a 3,17	a 3,99	a 1,24

[1]Sistema convencional, tratamento controle. Médias seguidas de mesma letra não diferente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

O experimento demonstra que o SPDH é uma alternativa viável ao SC na produção de ervilha, sem influenciar na produtividade. A maior parte dos tratamentos apresenta teores de produção equivalentes, indicando que o SPDH permite uma produção eficiente e sustentável. No entanto, como o sistema foi implantado recentemente, ainda não se podem observar variações nos resultados de forma significativa. Apesar disso, a adoção do SPDH já traz benefícios ambientais, como a conservação do solo, a redução da erosão e a manutenção da matéria orgânica, fatores essenciais para a sustentabilidade agrícola a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

À Capes, ao CNPq e a UBA pela concessão das bolsas de estudos. À Fundação Agrisus pelo financiamento do Projeto (PA 3698/23). Ao GEIES pelo auxílio no desenvolvimento do experimento.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G**. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift***, v. 22, p. 711-728, 2013.

LIMA, C. E. P.; MADEIRA, N. R. **As múltiplas economias do SPD em hortaliças.** *A Granja*, Porto Alegre, v. 69, n. 776, p. 95-97, ago. 2013.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

SECRETARIA ESPECIAL DE AGRICULTURA FAMILIAR E DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO**. Agricultura familiar do Brasil é 8ª maior produtora de alimentos do mundo.** 2018.

ARAUJO, M. A. de. **Modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja na região de Ponta Grossa** – Paraná; Curitiba, 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente.** 2 ed, Brasília: Abrates, 1985. 286p

PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, M. (Coords.). **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas.** Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800p

MARTINELLI, G. C., SCHLINDWEIN, M. M., PADOVAN, M. P., VOGEL, E., RUVIARO, C. F**. environmental performance of agroforestry systems in the Cerrado biome, Brazil**. World Development, v. 122, p. 339-348, 2019.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

USO DE PLANTAS DE COBERTURA NO MANEJO CONSERVACIONISTA PARA O CULTIVO DE HORTALIÇAS

Anna Cecília Ferreira Stremel[1*], Horácio Manfrin Mazero[2], Guilherme de Souza Sotsek[3], Eduarda Camile de Lima[4], André Carlos Auler[5]

[1]Mestranda PPG em Ciência do Solo, UFPR, [2]Doutorando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [3]Mestrando PPG em Ciência do Solo, UFPR, [4]Graduanda em Agronomia, UFPR, Professor, UFPR, e-mail: anna_stremel@hotmail.com

RESUMO

O manejo conservacionista com plantas de cobertura e sistema de plantio direto (SPD) promove a conservação do solo, contrastando com o cultivo convencional de hortaliças, que intensifica a degradação. Este estudo avaliou plantas de cobertura de inverno e verão em um Cambissolo Háplico na região metropolitana de Curitiba-PR, visando estabelecer um protocolo para sistemas conservacionistas. Foram testadas 10 espécies e dois controles (preparo convencional e vegetação espontânea). No inverno, o nabo forrageiro e o MIX (aveia branca, ervilha forrageira e nabo comum) destacaram-se na produção de massa fresca (35 e 42 Mg ha^{-1}) e seca (2,5 e 3 Mg ha^{-1}), com benefícios como supressão de ervas daninhas e melhoria da estrutura do solo. No verão, o milheto obteve os maiores valores (90 e 9 Mg ha^{-1}), devido ao seu rápido crescimento e tolerância à seca, enquanto o MIX (milheto, trigo mourisco e crotalária) mostrou-se eficaz na proteção contra erosão e ciclagem de nutrientes. Os resultados indicam que plantas de cobertura e consórcios são viáveis para sistemas conservacionistas de hortaliças, promovendo sustentabilidade e resiliência do solo.

PALAVRAS-CHAVE: manejo conservacionista; plantas de cobertura; produção de palhada.

INTRODUÇÃO

O cultivo de hortaliças está associado ao sistema convencional de uso do solo, que é caracterizado pelo intenso revolvimento e remoção da palhada das culturas, intensificando processos erosivos e de compactação (JIN *et al*., 2018; ZHANG *et al*., 2018).

O manejo conservacionista, incluindo o uso de plantas de cobertura e o sistema de plantio direto (SPD) têm se demonstrado eficaz na conservação de água e melhoraria das propriedades físicas e químicas do solo (WANG *et al*., 2021), porém, seu uso para hortaliças é pouco difundido (SCHULTZ *et al*., 2020).

Os preceitos do manejo do solo no SPDH são conservacionistas e buscam alta produção de biomassa vegetal diversificada e não revolvimento do solo. Assim, com base na alta atividade fotossintética, é possível garantir cobertura permanente do solo, o que reduz a degradação do solo por erosão. O preparo reduzido do solo, combinado com a ação das raízes de culturas de cobertura e culturas comerciais, bem como da biota do solo, mantêm a estrutura do solo e aumentam a estabilidade da matéria orgânica e a fertilidade do solo (LIMA *et al*., 2017).

As culturas de cobertura (CCs) proporcionam uma ampla gama de serviços agroecossistêmicos em sistemas agrícolas (MIRSKY *et al*., 2012). Historicamente, as CCs foram adotadas para proteger o solo da erosão (DABNEY *et al*., 2001) e capturar o nitrogênio residual do solo (N) para evitar que ele fosse lixiviado após a colheita das culturas comerciais anteriores (THAPA *et al*., 2018a). Além disso, algumas CCs podem fixar nitrogênio atmosférico e controlar efetivamente as ervas daninhas, reduzindo assim a dependência da agricultura de insumos químicos, como fertilizantes sintéticos de N e pesticidas (MIRSKY *et al*., 2011).

A cobertura viva por plantas e a biomassa seca no solo reduzem o aquecimento e a amplitude térmica, melhorando o microclima de crescimento. A produção abundante de biomassa pode manter e até aumentar o teor de matéria orgânica do solo, enquanto promove a ciclagem de nutrientes e constroe sistemas agrícolas resilientes (RUTERS *et al*., 2021).

Sendo assim, o trabalho citado tem como objetivo estabelecer um protocolo de plantas de cobertura que promova o estabelecimento de sistemas conservacionista de cultivo de hortaliças para a região metropolitana de Curitiba, considerando o escalonamento da produção.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Canguiri (25º 23' sul, 49º 08' oeste), no município de Pinhais-PR. Em um solo Cambissolo Háplico Distrofico Tb típico, com relevo suave, com textura argilosa. O clima da região é caracterizado como subtropical úmido (Cfb) (ÁLVAREZ *et al*., 2013).

O ensaio foi conduzido sob delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, sendo 10 plantas de cobertura mais dois tratamentos controle: P - plantio convencional com intenso revolvimento para preparo de canteiros; VE - cultivo sem revolvimento e sem plantas de cobertura, apenas uso de vegetação espontânea.

As plantas de cobertura semeadas em abril de 2024 foram: EF - ervilha forrageira (*Pisum sativum* ssp. *arvense*); EC - ervilhaca comum (*Vicia sativa*); TRE - tremoço-branco (*Lupinus albus*); NF e NPP - nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. comum e var. pé de pato); AP - aveia-preta (*Avena strigosa*); AB - aveia-branca (*A. sativa* L.); TRI - triticale (*Triticosecale* W.); TM - trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*); e um MIX comercial composto por aveia branca, ervilha forrageira e nabo comum.

Já as plantas de cobertura semenadas em novembro de 2024 foram: C - crotalária (*Crotalaria breviflora*); MU - mucuna preta (*Mucuna aterrima*); FP - feijão de porco (*Canavalia ensiformis*); FM - feijão mungo (*Vigna radiata*); TM - trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*); MI - milheto (*Pennisetum glaucum*); S - sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*); PG - pé de galinha (*Eleusine coracana*); PA - painço *(Panicum miliaceum*) e MIX comercial de milheto, trigo mourisco e crotalária.

A semeadura foi realizada de forma manual, em linhas de semeadura espaçadas em 20 cm. As densidades de semeadura utilizadas foram de 1,5 vezes o recomendado. Previamente a semeadura, as parcelas foram adubadas com cama de frango (5 Mg ha^{-1}). O cultivo foi mantido sob irrigação por aspersão convencional, duas vezes ao dia fornecendo lâminas de irrigação entre 4 e 7 mm h^{-1}.

Após o manejo das plantas de cobertura (60 dias após o plantio), as mesmas foram pesadas e, na mesma data, colocadas em estufa a 60°C. Depois de secas as plantas foram pesadas novamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa fresca e seca de inverno e verão apresentaram diferenças significativas nas médias analisadas. O nabo forrageiro e o MIX destacaram-se, com médias de 35 e 42 Mg ha^{-1}, respectivamente. Calegari *et al*. (2013) relata que o nabo forrageiro é eficaz na supressão de ervas daninhas e na melhoria da estrutura do solo, sendo essencial para sistemas de plantio direto. O MIX, por sua vez, demonstrou ser uma alternativa viável, devido à sinergia entre as espécies que o compõem, já que os consórcios oferecem diversificação e benefícios ao solo (BALBINOT JUNIOR *et al*., 2016).

Na produção de massa seca de inverno, o nabo forrageiro e o trigo mourisco obtiveram médias de 2,5 e 3 Mg ha^{-1}, respectivamente, com o MIX também se destacando. Os resultados se alinham com estudos que ressaltam a eficiência do nabo forrageiro na produção de biomassa em condições de inverno, devido à sua adaptação e crescimento rápido (CALEGARI *et al*., 2013). O trigo mourisco, por sua vez, é reconhecido por possuir um teor moderado de lignina, o que influencia sua decomposição lenta no solo, liberando nutrientes de forma gradual e atuando como uma cobertura eficaz (CRUSCIOL *et al*., 2015).

Já nas plantas de cobertura de verão, o milheto apresentou maiores valores na produção de massa fresca e seca com valores de 90 e 9 Mg ha^{-1}, respectivamente, se mostrando eficaz devido ao seu rápido crescimento e sistema radicular profundo, que melhora a estrutura do solo e aumenta a infiltração de água, reduzindo a compactação, além de ser tolerante à seca (FAVARETTO *et al*., 2018), auxiliando na supressão

de ervas daninhas e ciclagem de nutrientes. O MIX apresentou valores de 60 e 8 Mg ha^{-1}, reforçando a vantagem de consórcios na diversificação de benefícios ao solo, como a proteção contra erosão e a melhoria da matéria orgânica (PACHECO *et al*., 2020).

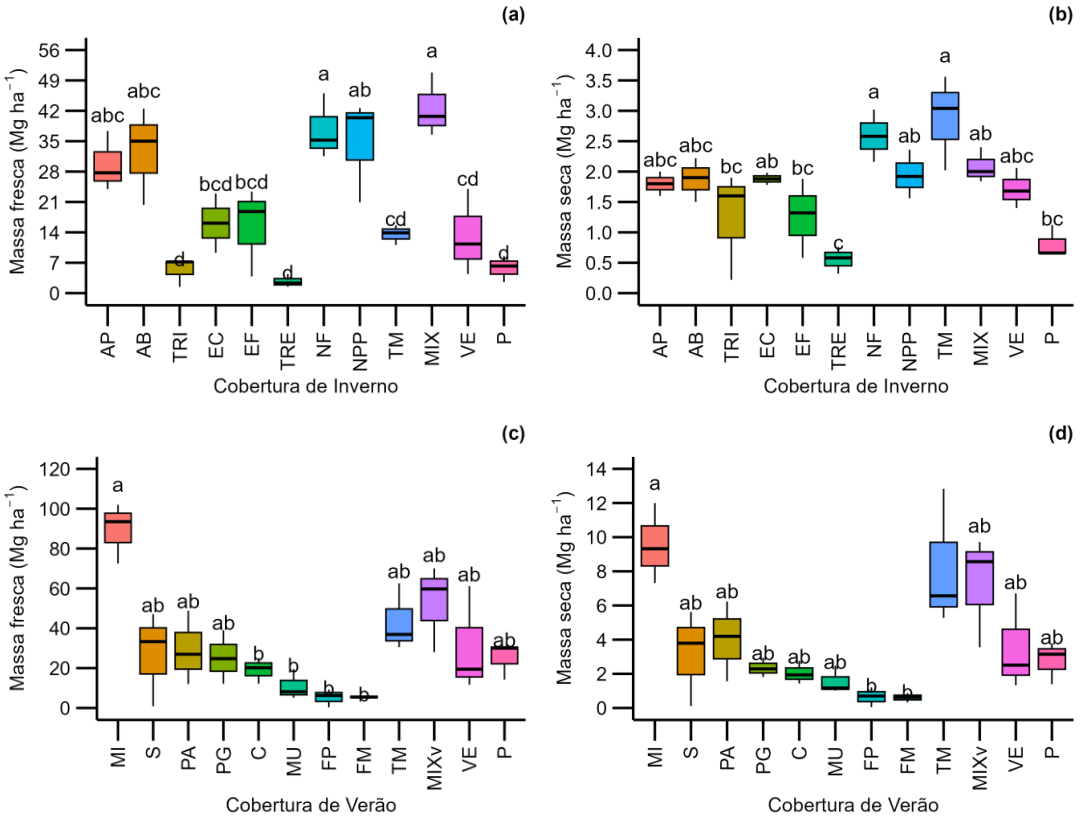


Figura 1. Produção de massa fresca e seca de inverno (a-b) e massa fresca e seca de verão (c-d) em Mg ha^{-1} nas diferentes plantas de cobertura em SPDH.

CONCLUSÕES

O nabo forrageiro e o trigo mourisco destacam-se como alternativas eficazes para o manejo da cobertura do solo no inverno, devido à sua alta produção de biomassa. No verão, o milheto sobressai pela sua elevada eficiência na produção de massa seca, aliada à sua tolerância à seca e ao rápido crescimento, tornando-o uma excelente opção para cobertura do solo em sistemas de plantio direto de hortaliças (SPDH).

Essas espécies, juntamente com consórcios como o MIX, demonstram potencial para promover a sustentabilidade e a resiliência do solo, contribuindo para a conservação e a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, CNPq e Fundação Agrisus pelo conhecimento, estrutura e recursos disponibilizados para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, M. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BALBINOT JUNIOR, A. A. *et al*. Consórcios de plantas de cobertura no sistema plantio direto: benefícios e desafios. **Revista Plantio Direto**, v. 26, n. 152, p. 12-18, 2016.

CALEGARI, A. *et al*. Leguminosas e adubação verde como estratégias para a melhoria da qualidade do solo em sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 1-10, 2013.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al*. Aveia branca e trigo mourisco como plantas de cobertura no sistema plantio direto: aspectos agronômicos e ambientais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 301-309, 2015.

DABNEY, S. M.; DELGADO, J. A.; REEVES, D. W. Using winter cover crops to improve soil and water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 1221–1250, 2001.

FAVARETTO, A. *et al*. Milheto como planta de cobertura no verão: produção de biomassa e efeitos na cultura subsequente. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 123-134, 2018.

JIN, H. *et al*. Research progress of conservation tillage technology and machine. **Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery**, v. 49, n. 4, 2018.

LIMA, C. E. P. *et al*. **Benefícios da adoção do sistema de plantio direto de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2017.

MIRSKY, S. B. *et al*. Timing of cover crop management effects on weed suppression in no-till planted soybean using a roller-crimper. **Weed Science**, v. 59, n. 3, p. 380–389, 2011.

MIRSKY, S. B. *et al*. Conservation tillage issues: Cover crop-based organic rotational no-till grain production in the mid-Atlantic region, USA. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 27, n. 1, p. 31–40, 2012.

PACHECO, L. P. *et al*. Desempenho agronômico de plantas de cobertura no verão e seus efeitos na qualidade do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 4, p. 1-10, 2020.

RUTERS, D. F. *et al*. Carbon increase and soil physical improvement in an onion no tillage system. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, p. 1-8, 2021.

SCHULTZ, N. *et al*. Produção de couve-flor em sistema plantio direto e convencional com aveia preta como planta de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30107-30122, 2020.

THAPA, R. *et al*. Biomass production and nitrogen accumulation by hairy vetch–cereal rye mixtures: a meta-analysis. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 1197–1208, 2018.

WANG, X. *et al*. Short-term subsoiling effects with different wing mounting heights before winter wheat on soil properties and wheat growth in Northwest China. **Soil and Tillage Research**, v. 213, p. 105151, 2021.

ZHANG, Y. *et al*. The effects of rotating conservation tillage with conventional tillage on soil properties and grain yields in winter wheat-spring maize rotations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 263, p. 107-117, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADUBAÇÃO RESIDUAL E PLANTAS DE COBERTURA: IMPACTO NA PRODUTIVIDADE DE SOJA APÓS OITO ANOS SEM APLICAÇÃO DE FÓSFORO

Lucas Gabriel Fiabane[1*], Laércio Ricardo Sartor[2], Luiz Henrique Grando[1], Elius Regis[3], Caroline Amadori[4]
[1] Estudante de graduação em agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [2] Professor do Curso de Agronomia, UTFPR Campus Dois Vizinhos, [3] Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da UTFPR Campus Dois Vizinhos, [4] Pesquisadora de pós-doutorado, UTFPR Campus Dois Vizinhos. *fiabane@alunos.utfpr.edu.br

RESUMO

Este estudo avalia o efeito residual de fontes fosfatadas e plantas de cobertura hibernais na produtividade da soja (safra 2023/2024), utilizando dados de um experimento de longa duração (iniciado em 2009) na UTFPR, Dois Vizinhos. Os tratamentos foram com fontes de fósforo (Superfosfato Simples, Fosfato Natural e controle sem fósforo) e plantas de cobertura (aveia preta, azevém, ervilhaca, nabo forrageiro, tremoço azul, centeio, mix de cobertura e pousio). O objetivo é verificar se o uso de plantas de cobertura e a fonte de fósforo influenciam a produtividade da soja em sucessão, considerando o tempo decorrido desde a última aplicação de fósforo (2015). O FN geralmente apresentou as maiores produção de massa seca, e a produtividade de soja não apresentou diferença entre o FN e o SFS em relação as plantas de cobertura. Conclui-se que as PC influenciam positivamente na produtividade da soja, e algumas respondem ao P.
PALAVRAS-CHAVE: adubação fosfatada; sustentabilidade; superfosfato simples; fosfato natural.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para as plantas, sendo crucial para processos como fotossíntese, respiração e para a formação de ATP (Adenosina Trifosfato), responsável por fornecer energia às plantas (PANTANO *et al*., 2016). No solo, a disponibilidade de fósforo é limitada devido à sua insolubilidade e tendência a ser adsorvido, o que exige a aplicação de fontes fosfatadas para atender às necessidades das plantas (BALEMI; NEGISHO, 2012). No Brasil, a escassez de P nos solos é agravada pela predominância de solos altamente intemperizados, que contêm alumínio e óxidos ferrosos, capazes de adsorver fósforo, especialmente na forma não lábil (TIECHER, 2011; PAVINATO *et al*., 2020).

Nos sistemas de plantio direto (SPD), o fósforo é concentrado na camada superficial do solo (0-10 cm), principalmente devido à adubação no sulco de semeadura. Nessa camada, há um acúmulo de fósforo proveniente da decomposição de restos culturais e raízes das plantas, com a matéria orgânica (MO) ajudando a manter o fósforo em forma lábil, ao contrário da imobilização, que o deixa em formas menos disponíveis para as plantas (NUNES *et al*., 2011). Em solos como os Latossolos, a movimentação vertical de P é restrita devido à alta capacidade de adsorção e à baixa mobilidade do fósforo, resultante da difusão limitada (ROSSI *et al*., 2020). O SPD contribui para melhorar a disponibilidade de P no solo, aumentando a matéria orgânica e reduzindo a decomposição dos restos culturais, o que favorece a fração de P lábil.

As plantas de cobertura desempenham um papel importante nesse processo, pois ajudam a manter a palhada no solo e são capazes de acessar formas de P menos lábeis por meio da exsudação de compostos orgânicos, além da capacidade de modificar as raízes com a ajuda de micorrizas e microrganismos que solubilizam o P (CASALI *et al*., 2016). Essas plantas também promovem a ciclagem de nutrientes, o que otimiza o uso de fertilizantes. Elas podem explorar diferentes profundidades do solo para absorver nutrientes e liberar exsudados ácidos que solubilizam o fósforo, que, após a decomposição dos resíduos vegetais, se torna disponível para a próxima cultura (LIMA FILHO *et al*., 2020).

A demanda por nutrientes tem aumentado com o aprimoramento genético de culturas como a soja, visando maior produtividade. Isso resulta em maior necessidade de adubação e disponibilidade de nutrientes para atender às exigências dessas culturas (MELO, 2016).

O presente trabalho tem como objetivo entender o efeito residual da adubação fosfatada no solo, e como as plantas de cobertura afetam essa dinâmica, através da produtividade da soja em restrição de P a oito anos. Visto que atualmente a demanda de P é crescente, e com o SPD maior pode ser a eficiência de uso do P com a utilização das plantas de cobertura. Assim, conduziu-se um experimento na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos, safra 2023/2024.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos, situado na localização de latitude 25° 41’ 34,05” S e longitude 53° 5’ 42,42” O e altitude de 526 metros. Segundo a classificação de Köppen, o local possui clima subtropical úmido mesotérmico (Cfa). O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférrico com textura argilosa (CABREIRA, 2015).

O experimento teve implantação no ano de 2009, no qual foi definido a implantação de 72 parcelas, de 25 m² (5 m x 5 m) cada, divido em 24 tratamentos com blocos ao acaso, no modelo bifatorial (3x8), sendo dividido em 3 tratamentos de P, 8 tratamentos de plantas de cobertura, em 3 repetições.

Durante os anos de 2009 a 2015, foi realizada aplicação anual de fontes de P, sendo o Superfosfato Simples (SFS), 18% de P_2O_5, Fosfato Natural (FN), 24%de P_2O_5 total, e testemunha sem uso, aplicados a lanço, na dosagem anual de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5.

Após 2015 não se fez mais aplicação de adubação fosfatada nessa área, apenas potássica e nitrogenada (quando milho). No período hibernal é feito o plantio de plantas de cobertura, sendo 6 espécies, um mix de plantas e a testemunha, sendo as espécies Aveia Preta (*Avena strigosa*), Azevém (*Lolium multiflorum*), Centeio (*Secale cereale*), Ervilhaca (*Vicia sativa*), Tremoço azul (*Lupinus angustifolius*), Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). O mix de plantas de cobertura é composto por Aveia preta, Nabo forrageiro e centeio.

A condução do experimento ocorreu durante a safra 2023/2024, na qual a semeadura das plantas de cobertura foi realizada manualmente. Nesta fase não é realizada nenhum tipo de adubação. Para a semeadura da soja utilizou-se semeadora à vácuo, com espaçamento de 45 cm, com a cultivar de soja Brasmax Zeus. Para a adubação utilizou-se somente K_20 na dosagem de 100 kg ha^{-1}.

Para realização das coletas para obtenção dos dados de massa seca das plantas de cobertura, utilizou-se um quadro com área conhecida de 0,25m², após as amostras foram levadas a estufa de secagem e posteriormente realizada a pesagem. Para coleta das plantas de soja para determinação da produtividade, utilizou-se área de 3 linhas de semeadura, por 3 metros de comprimento. Após as amostras foram trilhadas, realizada a pesagem e determinação de umidade.

Para a obtenção dos resultados, realizou-se a correlação dos dados de coleta de biomassa das plantas de cobertura, com os dados obtidos da produtividade da soja.

Os resultados foram submetidos a análises de variância pelo teste F a um nível de significância de 5% de probabilidade, as médias de efeito qualitativo foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da produção de massa seca (MS) das plantas de cobertura revelou que o tratamento com fosfato natural (FN) geralmente promoveu os maiores acúmulos de biomassa, com destaque para o tremoço, mix de cobertura e centeio. Este resultado corrobora com a literatura, que destaca o efeito residual do FN e sua capacidade de disponibilizar P a longo prazo (Melo *et al*., 2016). A liberação lenta de P pelo FN pode ter favorecido o crescimento contínuo das plantas de cobertura, resultando em maior produção de MS.

No tratamento com SFS, o mix de cobertura e o centeio também apresentaram bom desempenho, embora inferior ao FN. A rápida solubilização do SFS pode ter disponibilizado P prontamente, mas a fixação do nutriente no solo pode ter limitado a produção de MS em comparação ao FN (Novais *et al*., 2007).

Na ausência de P, o mix de cobertura se destacou, indicando sua capacidade de explorar o P remanescente no solo ou de fontes menos disponíveis. O nabo forrageiro, por outro lado, apresentou a menor produção de MS, sugerindo menor eficiência na aquisição de P em condições de restrição.

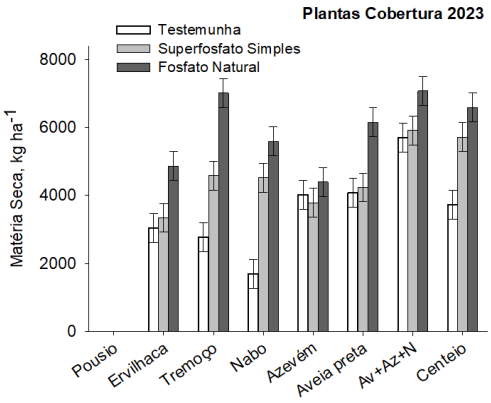


Figura 1. Produção de matéria seca de plantas de cobertura cultivadas em solo sem adubação fosfatada e sob residual (8 anos) da adubação de superfosfato simples e fosfato natural. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR.

A produtividade da soja não expressou grandes diferenças entres as fontes de P. O FN resultou nas maiores produtividades de soja, especialmente com ervilhaca, tremoço, nabo forrageiro, aveia preta e mix de cobertura. O SFS teve bom desempenho com pousio, tremoço, aveia preta, mix de cobertura e centeio. Na ausência de fósforo, ervilhaca, azevém, mix de cobertura e centeio se destacaram. Todas as plantas de cobertura apresentaram diferenças significativas na produtividade da soja entre os tratamentos com e sem fósforo. A interação entre plantas de cobertura e fontes de fósforo indica que as plantas de cobertura responderam à disponibilidade de fósforo para a cultura sucessora.

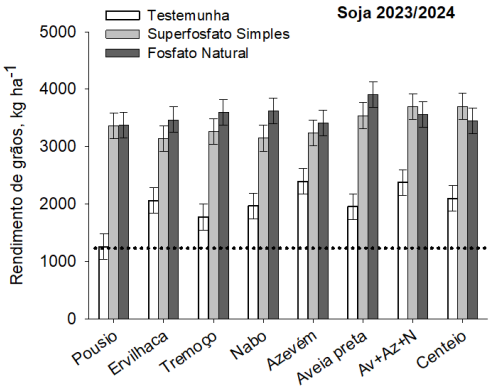


Figura 2. Rendimento de grãos de soja, safra 2023/2024 após cultivo de plantas de cobertura em solo sem adubação fosfatada e sob residual (8 anos) da adubação de superfosfato simples e fosfato natural. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR.

A rotação de culturas com plantas de cobertura demonstrou ser uma prática eficaz para melhorar a disponibilidade de P e a produtividade da soja. Plantas de cobertura com sistemas radiculares eficientes podem acessar o P de fontes menos solúveis e aumentar a disponibilidade do nutriente para a cultura sucessora (Crusciol *et al.*, 2012).

A resposta das plantas de cobertura à disponibilidade de P para a cultura sucessora foi evidente, com diferenças significativas na produtividade da soja entre os tratamentos com e sem P. A disponibilidade de P no solo é um fator determinante para o crescimento das plantas de cobertura, afetando a produção de biomassa e a ciclagem de nutrientes (Pacheco *et al.*, 2011).

Em suma, os resultados deste estudo destacam o efeito residual que as fontes fosfatadas apresentam, e como as plantas de cobertura se comportam sobre diferentes concentrações de P disponível, e como interfere na cultura principal. Assim a seleção de plantas de cobertura adequadas e o manejo adequado do P são cruciais para garantir a sustentabilidade da produção agrícola.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o fosfato natural (FN) teve um efeito residual positivo na produção de massa seca das plantas de cobertura e na produtividade da soja, superando o superfosfato simples (SFS). As plantas de cobertura demonstraram ser importantes aliadas na melhoria da disponibilidade de fósforo no solo, especialmente o mix de cobertura, que se destacou mesmo na ausência de fósforo. Este estudo reforça a importância da adubação fosfatada e da rotação de culturas com plantas de cobertura para a sustentabilidade da produção agrícola.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BIBLIOGRAFIA

BALEMI, T.; NEGISHO, K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 12, n. 3, p. 547–562, set. 2012.

CASALI, C. A. *et al***. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo.** 2016.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al*. **Cover crops affect soybean yield, nutrient uptake, and grain composition in a no-tillage system.** European Journal of Agronomy, v. 40, p. 133-141, 2012.

LIMA FILHO, O. F. DE *et al*. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. [s.l.] Embrapa, 2020.

MELO, J. C. L. *et al*. **Efeito residual do fosfato natural na produção de soja**. Ciência do Solo, 2016.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 328 p.

NUNES, R. DE S. *et al*. **Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 877–888, jun. 2011.

PACHECO, F. V. *et al*. **Acúmulo de nutrientes e produção de fitomassa de plantas de cobertura em função da adubação fosfatada**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 6, p. 2061-2070, 2011.

PAVINATO, P. S. *et al*. **Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil.** Scientific Reports, v. 10, n. 1, p. 15615, 28 set. 2020.

TIECHER, T. **Dinâmica do fósforo em solo muito argiloso sob diferentes preparos de solo e culturas de inverno**. 2011.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DE SOJA EM CONSÓRCIO E POLICULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA

Cauã André Conzatti[1*], Leandro Rampim[2], Moacir Zornita Junior[3], João Vitor Dellê[3], Marcelo Marques Lopes Müller[2]

[1]Estudante de mestrado da UNICENTRO, [2]Professor da UNICENTRO, [3]Eng. Agrônomo. *Email: cauaconzatti93@gmail.com

RESUMO

Plantas de cobertura sobre restos culturais auxiliam na manutenção da cobertura vegetal e na melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, tornando relevante a investigação do uso de consórcios. Este estudo avaliou o desempenho agronômico da soja após a semeadura de plantas de cobertura no outono, em um experimento de dois anos. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em fatorial 5x2, com 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O fator 1 incluiu testemunha (sem cobertura), nabo + aveia, azevém + ervilhaca, aveia + ervilhaca e policultivo (aveia + nabo + ervilhaca + azevém). No fator 2, a dessecação ocorreu 30 ou 15 dias antes da semeadura da soja. A cobertura de aveia + ervilhaca e mix foram superior. A resistência do solo à penetração foi maior na testemunha. A dessecação antecipada reduziu a compactação em algumas camadas. As plantas de cobertura aumentaram a produtividade da soja.

PALAVRAS-CHAVE: planta de cobertura; adubos verdes; consórcio; mix;

INTRODUÇÃO

Tem se observado que solos sem cobertura tem redução da taxa de infiltração de água e da macroporosidade, aumentando a resistência à penetração e a densidade do solo (Lanzanova *et al.*, 2010). O cultivo de plantas de cobertura sobre áreas agrícolas auxilia a descompactação do solo, devido a presença de sistemas radiculares, além da produção de cobertura vegetal, maximizando presença de palhada na superfície do solo e até mesmo ocorrendo aumento de matéria orgânica do solo. De acordo com Capellesso *et al.* (2016) práticas de manejo podem ser adotadas para a diminuição dos custos com fertilizantes nitrogenados e melhoria da fertilidade do solo.

Algumas espécies de plantas de cobertura apresentam sistema radicular com maior volume, podendo atuar na melhoria das condições físicas do solo. Sendo que o mix/policultivo de plantas de cobertura auxilia ainda mais, pois encontra-se diferentes categorias de raízes, ou seja, o uso de plantas com características contrastantes se apresenta superior quanto ao benefício agrícola (Ziech *et al*., 2015). Com a manutenção da qualidade física e química, o sistema de plantio direto proporciona benefícios às culturas de interesse agrícola, como a soja.

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agronômico da cultura de soja após semeadura de plantas de cobertura no outono.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve início em maio de 2022 com a semeadura mecânica das plantas de cobertura com semeadora de fluxo contínuo, sendo repetido também em 2023, no sistema de delineamento de blocos ao acaso em fatorial 5x2 com 4 repetições totalizando 40 unidades experimentais.

Para o primeiro fator foram incrementadas plantas de coberturas em diferentes consorciações, sendo: T1 - testemunha, qual não teve nenhum cultivo no outono/inverno, T2 - consórcio de aveia + nabo, T3 - consórcio de azevém + ervilhaca, T4 - consórcio de aveia + ervilhaca, e T5 – mix/policultivo contendo aveia + ervilhaca + nabo + azevém. Para o fator 2, antes da semeadura da soja em 2022/23 e em 2023/2024, foi realizada a dessecação 30 dias antes e 15 dias antes, com glifosato. Após o cultivo de plantas de cobertura, foi implantada e avaliada a cultura da soja.

Foi avaliado massa seca, resistência a penetração (RP), produtividade e massa de mil grãos na cultura da soja. Para a análise dos dados, foi realizado a análise de variância (ANAVA) e comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro ano (2022) a cobertura do solo (Figura 1) foi superior nos consórcios de plantas de cobertura em relação a testemunha, sendo o mix de aveia + nabo e aveia + ervilhaca superior aos demais tratamentos, enquanto no ano de 2023 o consórcio de aveia + ervilhaca se destacou sobre os demais, inclusive ao consórcio aveia + nabo e azevém + ervilhaca. Para ambos os anos, a menor produção de matéria seca foi na testemunha, acontecimento também relatado por Doneda *et al*. (2012), sendo o pousio uma prática que acumula menor massa e cobertura para o solo quando comparado com a consorciação de plantas de cobertura.

No primeiro ano de experimento, a maior produção de matéria seca no mix/policultivo pode ser explicada pela exploração eficiente dos recursos do meio (luz, água e nutrientes) devido às diferenças morfológicas entre as espécies consorciadas, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular (Radosevich *et al*., 1997). No ano seguinte, o consórcio de aveia + ervilhaca apresentou um desempenho promissor, resultado que é reforçado por Michelon *et al*. (2019), ao demonstrarem que a combinação de Fabaceae e Poaceae maximiza a produção de matéria seca da parte aérea. Importante ressaltar que, em ambos os anos, não houve diferença estatística entre os consórcios de aveia + ervilhaca e o mix.

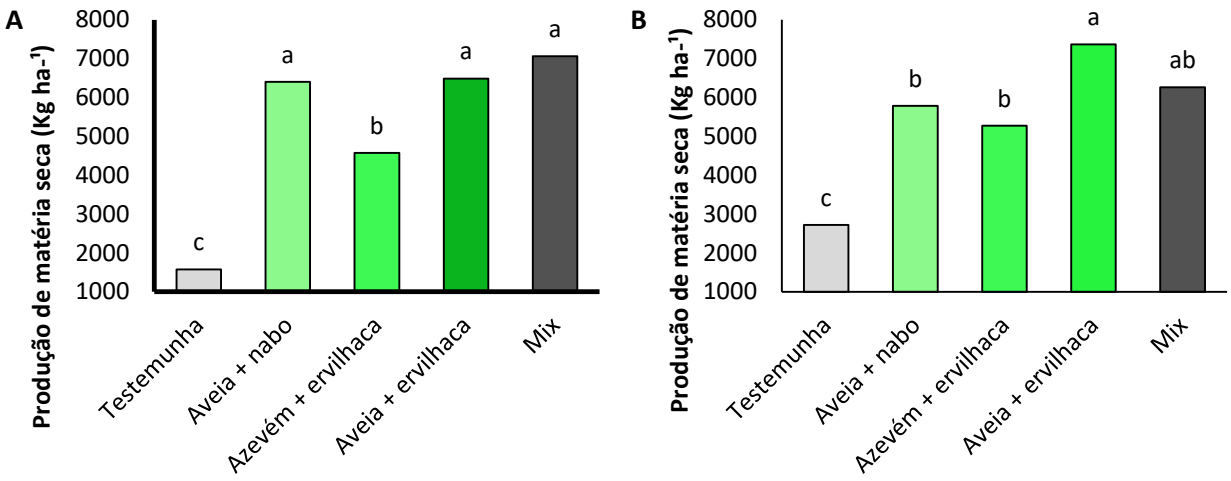


Figura 1. Massa de matéria seca dos anos de (A) 2022 e (B) 2023, por hectare pelos diferentes consórcios de plantas de cobertura no outono. NMAP, UNICETRO, Guarapuava, PR, 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (0,05%).

A massa de mil grãos da soja não foi influenciada pelo uso de plantas de cobertura. Em relação a produtividade da cultura da soja, foi superior o policultivo de aveia + azevém + ervilhaca + nabo para ambos os anos avaliados do experimento (Figura 2), apresentando minimamente 20% a mais em produtividade em relação ao pousio. Para Alvarez *et al*. (2017), essa consorciação impacta positivamente na produtividade da soja, fato que pode estar relacionado a capacidade de ciclagem de nutrientes e melhora nas propriedades do solo.

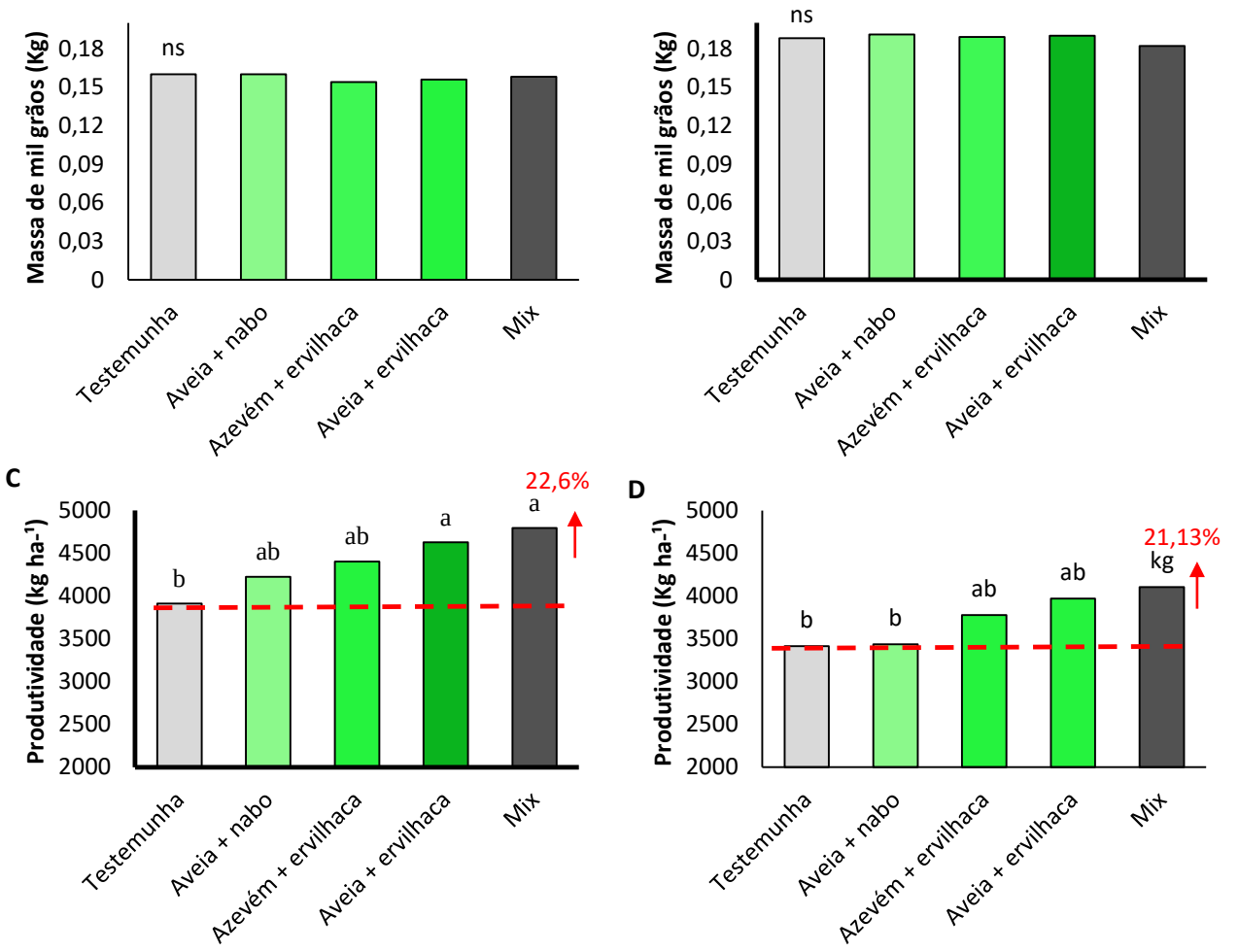


Figura 2. (A, B) Massa de mil grãos e (C, D) produtividade da soja em 2022/2023 e 2023/2024 respectivamente, cultivada sobre diferentes consórcios de plantas de cobertura no outono. UNICENTRO, NMAP, Guarapuava, PR, 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Quanto à resistência a penetração do solo, a 7cm de profundidade, a testemunha apresentou maior resistência. Esse resultado é esperado devido à menor presença de plantas na área, sendo apenas plantas espontâneas. Na mesma profundidade, o consórcio de aveia + nabo forrageiro foi quem apresentou menor resistência à penetração. Ritter *et al*. (2018) também demonstraram que o consórcio de aveia + nabo apresentou menor RP comparado com o pousio durante o inverno. Para o fator da dessecação das plantas de coberturas, em 8, 11, 19 e 20 cm, apresentou menor valor de RP na dessecação 30 dias anteriores ao cultivo da soja no verão. Após a dessecação e morte das plantas, inicia-se o processo de decomposição do sistema radicular, formando então galerias porosas que favorecem o crescimento das raízes da espécie sucessora, afirma Salton e Tomazi (2014).

CONCLUSÕES

A cobertura do solo com plantas de cobertura em consórcio contendo plantas Fabaceae e Poaceae, incluindo o policultivo/mix foi superior aos demais tratamentos.

As plantas de coberturas em consórcio e policultivo/mix foram eficazes para proporcionar maior produtividade da cultura da soja.

A resistência à penetração do solo foi inferior para cultivo de plantas de coberturas em consórcio e policultivo/mix.

A dessecação 30 dias antes da semeadura reduziu a resistência à penetração do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos do Núcleo de Mecanização e Agricultura de Precisão (NMAP), Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas e Laboratório de Física, Manejo e Conservação do solo da UNICENTRO no auxílio na execução das atividades. Fica o agradecimento ao CNPq, à Fundação Araucária, à CAPES e ao SENAR-PR pelo apoio financeiro. Agradecemos à Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), pela estrutura e oportunidades oferecidas, permitindo a execução da pesquisa e a conclusão deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S.; PAEPE, J. L. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 170, p. 53-65, 2017.

CAPELLESSO, A. J.; MARTINS, D. A.; MÜLLER, J.; MUNIZ, J. Manejo de plantas espontâneas e adubação nitrogenada com adubos verdes e consórcio: desafios para a transição agroecológicas na produção do milho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 11, n. 4, p. 336-344, 2016.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. Revista Brasileira de **Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R.; Atributos físicos de um Argissolo em sistema de culturas de longa duração sob semeadura direta. Revista Brasileira de **Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1333-1342, 2010.

MICHELON, C. J. JUNGES, E.; CASALI, C. A.; PELLEGRINI, J. B. R.; NETO, L. R.; OLIVEIRA, Z. B.; OLIVEIRA, M. B. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019.

RADOSEVICH, S. H.; GHERSA, C. J. S.; Weed Ecology: Implications for Vegetation Management. **John Wiley and Sons**, New York, 278-301. 1997. 588p

RITTER, P.; LAMB, R. O.; MASCHIO, M.; MARCOLIN, C. Diferentes tipos de plantas de cobertura como alternativa para descompactação de solo manejado sob sistema plantio direto. *In:* SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 6., 2018, Bento Gonçalves. **Resumos** [...]. Bento Gonçalves: Instituto Federal do Rio Grade do Sul, 2018.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados: Embrapa, 2014. 8 p. (*Embrapa. Circular Técnica, 198*).

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 374-382, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

SISTEMA PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS NOS ANOS INICIAIS DE IMPLANTAÇÃO DO SOB MANEJO AGROECOLÓGICO

Gabrieli Stefani Ferreira dos Santos[1*], Tiago Kiszka Horodecki[2], Luiza Farber Maier[3], Paulo Cesar Conceição[4], Ana Regina Dahlem Ziech[5]

[1, 2, 3] Estudante de graduação – Bacharelado em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). [*]E-mail: stefanigabrielly07@gmail.com; [4,5]Professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

RESUMO

A produção de hortaliças é caracterizada pelo manejo convencional com revolvimento frequente do solo. O objetivo foi avaliar o aporte de fitomassa pelas plantas de cobertura e a resposta produtiva de brócolis em SPDH de base agroecológica. O experimento foi conduzido entre 2020 e 2023, em delineamento de blocos ao acaso, três repetições e oito tratamentos (sistema plantio direto com seis plantas de cobertura e duas testemunhas: pousio com revolvimento do solo e pousio com roçada). A hortaliça utilizada foi a brócolis, com adubação orgânica. Os dados foram aplicados à ANOVA e comparados pelo teste Scott-Knott. A produção de fitomassa do milheto (14.183 kg ha-[1]) é superior às demais espécies, e as maiores produtividades de brócoli foram em SPDH sobre fabáceas. O SPDH promove, mesmo nos anos iniciais de implantação, incremento na produtividade de brócolis em relação ao manejo convencional de revolvimento do solo e pousio com roçada.
PALAVRAS-CHAVE: *Brassica oleracea*, conservação do solo, fitomassa, sustentabilidade, produtividade.

INTRODUÇÃO

A degradação do solo e a contaminação de recursos hídricos são desafios críticos, especialmente em sistemas intensivos de produção de hortaliças, tradicionalmente caracterizado pelo manejo convencional com revolvimento frequente do solo e o uso excessivo de insumos químicos são comuns (Carvalho e Amabile, 2006; Embrapa Hortaliças, 2018).

Assim, o Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) surge como uma alternativa viável, baseada em três pilares fundamentais: a não mobilização do solo, a manutenção de cobertura vegetal permanente e a rotação de culturas. Esses princípios, quando aplicados em sistemas agroecológicos, potencializam os benefícios ambientais, proteção contra a erosão, na regulação da temperatura e na manutenção da umidade, fatores essenciais para a estabilidade produtiva (Lamas, 2018), associado à conservação dos recursos naturais, especialmente em relação à qualidade do solo e da água.

De acordo com Fayad (2019), um dos principais desafios para os pesquisadores na área de manejo e conservação do solo é o incentivo ao uso de espécies para cobertura do solo, por meio da conscientização dos agricultores sobre a importância dessa prática para alcançar parcialmente os objetivos básicos do SPD. Nesse sentido, para o estabelecimento de um sistema cujas plantas de cobertura beneficiem a cultura sucessora e o solo, é de fundamental importância a escolha das espécies a serem utilizadas.

O objetivo foi avaliar o aporte de fitomassa pelas plantas de cobertura e a resposta produtiva de brócolis em SPDH de base agroecológica, em comparação aos manejos convencionais do solo nos anos iniciais de implantação, nas condições edafoclimáticas do oeste do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Santa Helena, oeste do Paraná, coordenadas geográficas de 54°19'58'' e 24°51'37'', 258 metros de altitude. O clima é Cfa subtropical, elevada amplitude térmica sem estação seca definida de acordo com Köppen.

Os solos predominantes na região são do tipo Nitossolo Vermelho seguindo a classificação do SBCS (BDIA, 2023), muito argiloso com 73% argila, 18,1% silte e 8,9% areia. A caracterização química inicial da camada de 0-20 cm apresentou: pH ($CaCl_2$) 4,80; MO 28,81 g dm^{-3}; P (Mehlich^{-1}) 5,32 mg dm^{-3}; K 0,37 $cmol_c$

dm^{-3}; Ca 4,50 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg 1,55 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al 6,21 $cmol_c$ dm^{-3}; SB (soma de bases) 6,42 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC 12,63 $cmol_c$ dm^{-3} e V (saturação por bases) 50,83%. O estabelecimento do SPDH iniciou em 2020, sobre solo preparado sob manejo convencional em área total.

O delineamento foi de blocos ao acaso com oito tratamentos, sistema plantio direto com plantas de cobertura e pousios (testemunhas), com 3 repetições. As plantas de cobertura e suas respectivas densidades, são: T1-Crotalária ochroleuca (*Crotalaria ochroleuca*) 15 kg ha^{-1}; T2-Crotalária spectabilis (*Crotalaria spectabilis*) 12 kg ha^{-1}; T3-Milheto (*Pennisetum glaucum*) 20 kg ha^{-1}; T4-Feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) 50 kg ha^{-1}; T5-Feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) 120 kg ha^{-1}; T6-Mucuna preta (*Mucuna aterrima*) 80 kg ha^{-1} e as testemunhas: T7-Pousio com roçada e T8-Pousio convencional com revolvimento do solo.

As plantas de cobertura foram semeadas em 11/12/2020, 21/12/2021 e 09/01/2023 em sulcos, espaçamentos entre linhas de 50 cm (fabáceas) e 25 cm (milheto). As coletas de biomassa vegetal para determinação da matéria seca, ocorreu aos 110 (2021), 121 (2022) e 92 (2023) dias após a semeadura, por meio de quadro metálico (0,25 m^2) em dois pontos ao acaso. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar (50 a 55 °C [∓5]), até massa constante. O manejo foi realizado através de roçadeira costal, da mesma forma, todos os anos. O mesmo procedimento foi aplicado ao pousio com roçada, para manejo de plantas espontâneas. No pousio convencional com revolvimento do solo, utilizou-se enxada rotativa acoplada em trator (New Holland, TL85E), operação essa, realizada apenas uma vez ao ano, antecedendo o transplantio da cultura de interesse principal, de brócolis.

A hortaliça utilizada como cultura principal nos três anos de SPDH foi a brócolis (*Brassica oleracea* var. itálica) cultivar híbrida BRO 68 Syngenta. As mudas foram produzidas em bandejas de 128 células com substrato comercial (Mecplant) e o transplantio, com 3 a 4 folhas verdadeiras, utilizando plantadeira (matraca) adaptada para mudas, com espaçamento de 50 cm entre plantas e 80 cm entre linhas.

A adubação orgânica foi cama de aves de corte (1º ano) em quantidade total de 15 t ha (equivalente a 324 kg ha^{-1} de N orgânico, 471 kg ha^{-1} de P total e 337 kg ha^{-1} de K), e aplicação de esterco bovino (2º e 3º ano) na quantidade de 30 t ha^{-1} (~ 450 kg ha-¹ de N orgânico, 65,7 kg ha^{-1} P total de e 297 kg ha^{-1} de K por ano). As adubações foram divididas em duas aplicações: I) previamente ao transplantio e II) após 35 de transplante das mudas.

A colheita de brócolis ocorreu entre 74 e 79 dias após o transplantio, em 8 plantas centrais de cada parcela (área útil), e os valores extrapolados para produtividade por hectare. Os dados coletados foram aplicados à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott (p-valor≤0,05) pelo programa computacional GENES. Os gráficos foram elaborados em planilha eletrônica e Sigmaplot 11.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção média de MS (Figura 1), evidencia o potencial do milheto como planta de cobertura do solo, com aporte de 14.183 kg ha^{-1} diferindo-se das demais espécies, inclusive de fabáceas como o feijão de porco e a *C. ochroleuca*, com 10.120 e 8.438 kg ha^{-1} de MS, respectivamente. Vezzani *et al*., (2019), indicam que a qualidade do solo em SPDH, é alcançada por meio de um conjunto de práticas, dentre elas, a adição de MS superior a 10 toneladas por hectare anual por meio dos planos de consorciação ou rotação de culturas.

Nesse sentido, conhecer o potencial de cada espécie em adaptação às condições climáticas específicas, permite o planejamento de modo a atingir o aporte mínimo necessário. A exemplo das demais fabáceas testadas no presente estudo, cujo aporte de fitomassa ficou entre 4.339 e 6.457 kg ha^{-1} de MS ano (Figura 1), indicando a necessidade de complementação de MS para o sistema. Cabe destacar, que o Feijão guandu e a *C. spectabilis* apresentaram problemas de germinação e desenvolvimento inicial no ano 2022, não resultando em produção e aporte de fitomassa, o que justifica a redução da média.

A adição de MS total (somatório dos três anos) pelas plantas de cobertura nos primeiros anos de SPDH (Figura 1), indica o milheto como excelente fonte de adição de carbono ao solo, com aporte de 42.550 kg

ha^{-1} de MS ao sistema. Dentre as fabáceas, o Feijão de porco se destaca com 30.360 kg ha^{-1}, não diferindo da *C. ochroleuca*, com 25.316 kg ha^{-1}. Além da MS, as fabáceas contribuem com aporte de nitrogênio ao sistema pela fixação biológica.

A produtividade média de brócolis fresca (Figura 2), foi maior no cultivo em SPDH sobre Feijão de porco, Mucuna preta e *C. ochroleuca*, entre 15.568 e 13.676 kg ha^{-1} de inflorescências, diferindo-se dos demais tratamentos. A *C. spectabilis* e o Feijão guandu, mesmo com problemas no aporte de palha ao sistema solo, proporcionaram produtividade de brócolis superiores aos pousios.

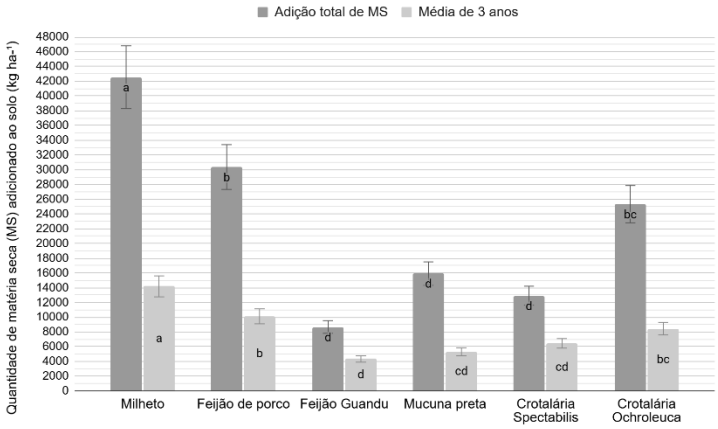


Figura 1. Adição total de matéria seca (MS) em três anos e produção média de MS por ano pelas plantas de cobertura do solo para aporte de palha ao sistema plantio direto de hortaliças (SPDH). UTFPR Santa Helena, Paraná, Brasil. Barras representam o erro padrão da média, e médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste Scott-Knott, 5% de probabilidade de erro.

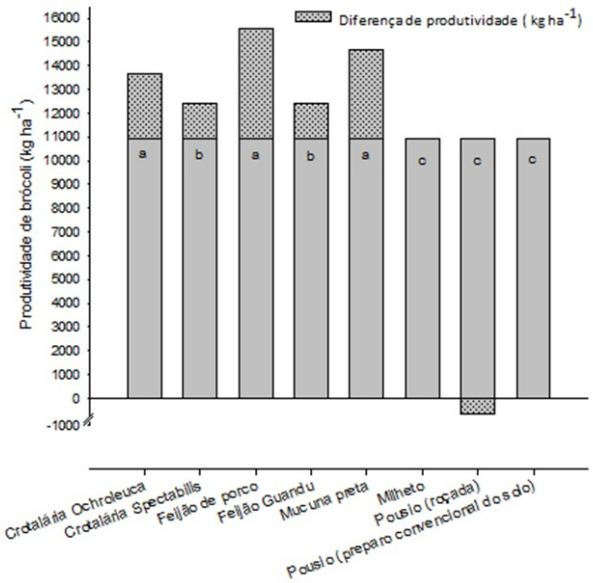


Figura 2. Produtividade (kg ha-^{1}) média de brócolis e diferença produtiva (kg ha-^{1}) em comparação ao pousio convencional com revolvimento do solo. UTFPR Santa Helena, Paraná, Brasil. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste Scott-Knott, 5% de probabilidade de erro.

A produtividade de brócolis sobre o Milheto foi inferior às fabáceas, e similar aos pousios (Figura 2). Esse comportamento, pode ser relacionado com o elevado aporte de palha ao sistema (Figura 1), em que, a adição total de MS pelo milheto foi 1,4 vezes maior que o feijão de porco, e 2,6 vezes superior a mucuna preta, o que justifica sua importância como planta de cobertura, todavia, por sua elevada relação C/N (30 ou superior) influencia diretamente na decomposição e imobilização dos nutrientes (Kliemann *et al*., 2006).

O diferencial de produtividade de brócolis em SPDH em comparação ao pousio com revolvimento do solo, evidencia incrementos entre 1.465 a 4.650 kg ha^{-1} pelo uso de fabáceas no sistema (Figura 2). O milheto por sua vez, apresentou decréscimo de 11 kg ha^{-1} na produtividade de brócoli, apesar de seu potencial em aporte de palha, faz-se necessário pensar em estratégias diferenciadas para essa espécie junto ao SPDH, sejam elas de adubação, intervalo entre manejo e entrada das mudas da hortaliça, ou ainda a consorciação dessa poácea com fabáceas, promovendo equilíbrio entre produção de MS para proteção do solo, decomposição, mineralização em sincronia com as hortaliças.

Cabe destacar, que o pousio com roçada das espécies espontâneas previamente à hortaliça resultou em decréscimo de 633 kg ha^{-1} na produtividade de brócolis em comparação ao pousio convencional com revolvimento do solo, ou seja, resposta inferior ao aporte de elevada MS de alta relação C/N ao sistema. Assim, o uso de plantas de cobertura no SPDH promove efeitos benéficos ao sistema, fazendo-se necessário a continuidade dos estudos voltados à consorciação de fabáceas e poáceas.

CONCLUSÕES

O milheto é uma excelente planta de cobertura para produção e aporte de palha no sistema plantio direto de hortaliças, com efeitos produtivos, à cultura da brócolis, iguais ao manejo convencional do solo.

Feijão de porco e *C. ochroleuca* apresentam adaptabilidade às condições edafoclimáticas do oeste do Paraná, com elevado aporte de MS ao sistema.

SPDH com uso de fabáceas e práticas agroecológicas, promove mesmo nos anos iniciais de implantação, incremento na produtividade de brócolis em relação ao manejo convencional de revolvimento do solo e pousio com roçada.

AGRADECIMENTOS

Ao Napi Sudoeste, à Fundação Araucária e a Itaipu Parquetec/Convênio Extensão para Sustentabilidade Territorial Nº 4500074501 - EDU.DNE pela concessão de bolsa.

BIBLIOGRAFIA

BDIA - Banco de Dados de Informações Ambientais. **Pedologia.** Disponível em: https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia. Acesso em: 15 fev. 2025

CARVALHO, A. M. DE; AMABILE, R. F. **Cerrado adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369p.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAUJO, A. G. DE; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil**: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Sistema de plantio direto de hortaliças**: produtividade e sucesso na lavoura. Canal do Horticultor. Publicado em 11/10/2018.

VEZZANI, F. M.; FERREIRA, G. W.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Conceitos, métodos de avaliação participativa e o SPDH como promotor de qualidade do solo. *In:* FAYAD, J. A. *et al*. Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção. 2. ed. Florianópolis: Epagri, 2019. Cap. 6, p. 116.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

LAMAS, F. M. **Plantas de cobertura: O que é isto**? 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28512796/artigo---plantas-de-cobertura-o -que-e-isto. Acesso em: 09 dez. 2024.

VEZZANI, F. M.; FERREIRA, G. W.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Conceitos, métodos de avaliação participativa e o SPDH como promotor de qualidade do solo. *In:* FAYAD, J. A. *et al*. **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção**. 2. ed. Florianópolis: Epagri, 2019. Cap. 6, p. 118.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MANEJOS INTEGRADOS DE SOLO E DE ADUBO ORGÂNICO PARA A PRODUÇÃO DE BATATA ORGÂNICA

Renato Yagi[1]*, Henrique von Hertwig Bittencourt[2], Robson Alexandre Opolis[3], João Pedro Griczinski Sikora[4], Willyan Elizeu Valentim[4]

[1]Pesquisador do IDR-Paraná; [2]Professor da UFFS; [3]Estudante de graduação da Universidade Tuiuti do Paraná; [4]Estudante de graduação do IFPR. *ryagi@idr.pr.gov.br

RESUMO

Produzir batatas em sistema orgânico não é uma agricultura conservacionista, mas é uma necessidade iminente em vista da meta de uma merenda escolar totalmente orgânica no Estado do Paraná. O objetivo foi avaliar manejos de solo, convencional e plantios diretos tradicional e rotacionado de centeio e de batata, associados aos respectivos modos de aplicação de doses de cama de aviário, com incorporação em pré-plantio ou no sulco de plantio, de batata 'IPR Cris' em sistema orgânico. Não houve diferenças entre os manejos de solo/centeio sobre as produtividades de tubérculos comerciais, mas estas responderam linearmente às doses de cama de aviário independentemente do modo de aplicação. Conclui-se que o plantio direto tanto de cultura de cobertura de inverno quanto de tubérculos-sementes com aplicação prévia de 7,5 t ha^{-1} de cama de aviário no sulco de plantio é sustentável técnica e economicamente para o cultivo de batata orgânica no Estado do Paraná.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum tuberosum* L.; plantio direto de hortaliças; cama de aviário.

INTRODUÇÃO

Existe um paradoxo muito grande entre agriculturas orgânicas ou conservacionistas e o cultivo de batata orgânica. De forma inerente, tanto o preparo do solo quanto a colheita de tubérculos expõem o solo à erosão hídrica e oxidam sua matéria orgânica, ao passo que a baixa eficiência na absorção de nutrientes característica das plantas de batata, faz com que sejam necessárias grandes quantidades de nutrientes. No entanto, atualmente existe hoje uma forte demanda de pesquisa para atender uma demanda de política pública acerca do fornecimento de merenda escolar 100% orgânica até 2030 para mais de 2 mil escolas estaduais[1]. Neste contexto, são necessárias técnicas para manejos sustentáveis de solo e de fertilizantes orgânicos para a produção de tubérculos de batata orgânica.

Poucos são os trabalhos acerca de manejos de solo para o cultivo de batata, concentrados sobretudo em oxisolos tropicais e subtropicais e sistematicamente pautados na estratégia de incorporação de resíduos vegetais (Ragassi *et al.,* 2009; Yagi *et al*., 2024). Recentemente em solos paranaenses, Yagi *et al.,* (2024) observaram que m ano de forte déficit hídrico provocado pelo fenômeno *La Niña*, a incorporação de plantas dessecadas de centeio ao solo promoveu aumento (39,5%) nas produtividades de tubérculos comerciais da cultivar Atlantic. Já em experimento sistema orgânico, aonde este déficit hídrico foi mais severo, os mesmos autores mostraram que o plantio direto de batata aumentou ($p < 0,05$) em 2,2 tubérculos por planta (38,5 %) da cultivar SCS376 Joaquina. Entretanto, apesar de ter sido explorada a técnica do plantio direto neste experimento com batata orgânica, houve um preparo do solo anterior na ocasião da implementação da cultura do centeio (Yagi *et al.,* 2024). Esta modalidade de manejo de solo para a cultura da batata orgânica é conhecida como "*rotation tillage*", usado tanto para controle de plantas daninhas quanto para incorporação de adubos verdes ao solo em sistema orgânico de produção (Carter *et al.,* 2005).

[1] https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Merenda-nas-escolas-estaduais-deve-ser-100-organica-ate-2030

O plantio direto de batata orgânica parece ser uma alternativa prática e viável para disposição de restos vegetais sobre a superfície do solo e sulcos de plantio, em uma espécie de mulching (Yagi *et al.,* 2024).

A pesquisa sobre a produção deste mulching *in loco* foi fomentada por trabalho anterior também em sistema orgânico (Yagi *et al.,* 2020), aonde foi observado que a disposição de resíduos picados de capim elefante sobre camalhões de batata foi primordial para que houvesse efeito da adubação orgânica com cama de aviário nas produtividades de tubérculos. Por sua vez, a modalidade de adubação orgânica com a incorporação de cama de aviário em pré-plantio do cultivo de batata orgânica também possui embasamento técnico, sendo superior à aplicação no sulco de semeadura (Schafranski *et al.,* 2022).

Assim, os trabalhos anteriores com a cultura da batata orgânica (Yagi *et al.,* 2020; Schafranski *et a*l., 2022; Yagi *et al.,* 2024) embasam as seguintes hipóteses: 1) o preparo rotacionado do solo no inverno para o plantio de batata de primavera-verão pode aumentar as produtividades de tubérculos em relação a um cultivo com centeio em semeadura direta com incorporação de resíduos no plantio de batata de primavera-verão; 2) em solo sob cultivo de centeio em semeadura direta, o manejo de solo com rolo-faca para plantio direto de tubérculos-sementes é viável em termos de produtividades de tubérculos; 3) Conforme modalidade de plantio de batata, em sistema convencional ou em plantio direto, existem diferenças entre as respostas em produtividades de tubérculos com doses de cama de aviário conforme respectivo modo de aplicação (no sulco ou com incorporação). O objetivo com este estudo foi avaliar manejos integrados de solo e de adubação orgânica para o cultivo de batata 'IPR Cris' em sistema orgânico em condições subtropicais do estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental da Lapa (25°46'11"S, 49°42'57"O, 908 m), do Polo Regional de Pesquisa e Inovação de Curitiba do IDR-Paraná, Estado do Paraná, Sul do Brasil. O clima local é classificado como Cfb conforme classificação de Köppen-Geiger, subtropical úmido com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida.

O solo da área experimental foi classificado como um Cambissolo háplico de textura média, que foi previamente amostrado e caracterizado química (Pavan *et al.,* 1992) e fisicamente (Embrapa, 1997). Os resultados foram: pH($CaCl_2$) = 5.6; C orgânico (Walkley & Black) = 31,5 g dm^{-3}; P (Mehlich-1) = 23,0 mg dm^{-3}; K (Mehlich-1) = 2,4 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca (KCl) = 11,0 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg (KCl) = 2,4 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al= 4,0 $cmol_c$ dm^{-3}; V= 77%; areia = 478 g kg^{-1}; silte = 203 g kg^{-1} e argila = 319 g kg^{-1}.

Foi empregado delineamento em blocos ao acaso (DBC), em esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. Nas parcelas principais foram aplicados tratamentos em manejos de solo (A-Preparo do solo antes da semeadura de inverno e plantio direto de batata; B- Semeadura direta de centeio inverno e preparo convencional de batata; C-Semeadura direta de centeio no inverno, manejo com rolo-faca e plantio direto de batata), associados a doses de cama de aviário (0; 7,5; 15,0 e 22,5 Mg ha^{-1}) para a cultura da batata nas subparcelas, conforme respectivo sistema de plantio (incorporadas ao solo no preparo convencional e nos sulcos de semeadura no plantio direto). As subparcelas apresentavam dimensões de 3,2 x 5,1 m (13,32 m^2), correspondentes a 4 linhas de 5,1 m cada, com 0,8 m de espaçamento entre linhas e 0,3 m de espaçamento entre plantas, perfazendo o plantio de 68 tubérculos-sementes por parcela.

A área experimental encontrava-se em sistema orgânico há mais de 15 anos, com sucessões e rotações com milho, feijão, aveia preta, nabo forrageiro, e em pousio em algumas ocasiões. Uma roçadeira e uma grade leve foram usadas na área previamente ao estaqueamento de parcelas e blocos para erradicação de

plantas daninhas. Em maio de 2024 as parcelas com preparo de solo no outono (A) foram manejadas, a partir de grade aradora, escarificador (±25 cm) e grade niveladora (2x). Cerca de uma semana depois todas as parcelas foram semeadas (60 kg ha^{-1}) com centeio cv. IPR 89, à lanço com posterior passagem de grade leve aberta. Após 77 dias após a semeadura foram coletados 2 intersectos 90 cm^2 em cada parcela para estimativa da matéria seca da parte aérea (MSPA) de centeio, após secagem em estufa a 65 ºC até peso constante.

Após 109 dias da semeadura de centeio e cerca de 95 dias da emergência das plantas (24/09/2024), o solo nas parcelas com preparo de solo para o plantio dos tubérculos-sementes foi manejado, assim como aquele destinado ao plantio direto. Nas primeiras, foram empregados triturador horizontal, grade aradora, escarificador, grade niveladora e sulcador, ao passo que nas parcelas com plantio direto (nos tratamentos principais A e C), foi empregado triturador horizontal e sulcador. Depois de uma semana, sementes do tipo II da cultivar IPR Cris foram plantadas e coberturas com solo com auxílio de enxadas em todas as parcelas. O experimento foi conduzido sem irrigação e a partir das premissas do sistema orgânico de produção, a partir de insumos autorizados. Em 24/01/2025, 115 dias após o plantio, foram colhidas 20 plantas por parcela nas duas linhas centrais, cujos tubérculos foram pesados para estimava das produtividades de tubérculos frescos (kg ha^{-1}).

Após testes de homogeneidade de variâncias e de normalidade, as produtividades de MSPA de centeio foram submetidas à análise de variância considerando DBC com 3 tratamentos e 16 repetições (4 repetições de 4 doses de esterco em cada tratamento), enquanto as de tubérculos como esquema de parcelas subdivididas com 3 manejos de solo nas parcelas com 4 doses de cama de aviário cada nas subparcelas. As comparações das médias foram feitas por teste t de Student ($p < 0,05$) e a avaliação dos efeitos das doses de cama de aviário foram desdobradas em regressões polinomiais a 5% e a 1% de probabilidade. A partir dos valores recebidos de cama de aviário e batata (1ª safra) no município da Lapa (SEAB-DERAL, 2025), com acréscimo de 30% nos valores de batata orgânica, foi realizado levantamento econômico dos tratamentos considerando DBC em esquema fatorial 3x3 (3 manejos de solo e 3 doses de cama de aviário) com 4 repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O preparo do solo no outono aumentou em 14,1% a MSPA de centeio em relação às parcelas em plantio direto, mas não houve diferenças entre manejos de solo nas produtividades de tubérculos (Figura 1a), que em geral foram baixas, de 12254 kg ha-1 em média. Independentemente do manejo de solo, aumentos lineares das produtividades de tubérculos ocorreram com as doses de cama de aviário aplicadas, proporcionando um incremento médio de 5,379 kg ha-1 (65,1%) (Figura 1b).

Estes resultados corroboram os obtidos por Carter et al., (2005), que também não observaram diferenças em produtividades de tubérculos com manejos de solo em três safras seguidas, mas discordam dos obtidos por Schafranski et al. (2022), que constataram superioridade da incorporação do adubo orgânico para produção de batata orgânica. Apesar dos incrementos lineares de produtividades de tubérculos, os lucros obtidos com as doses estudadas foram similares independentemente do manejo de solo adotado (p > 0,05), em média de R$ 8.584,02 ha-1 (Figura 1b).

CONCLUSÕES

O plantio direto tanto de centeio como cultura de cobertura de inverno quanto de tubérculos-sementes de batata 'IPR Cris' com aplicação prévia de 7,5 t ha^{-1} de cama de aviário no sulco de plantio é um manejo integrado técnica e economicamente sustentável para o cultivo de batata orgânica no Estado do Paraná.

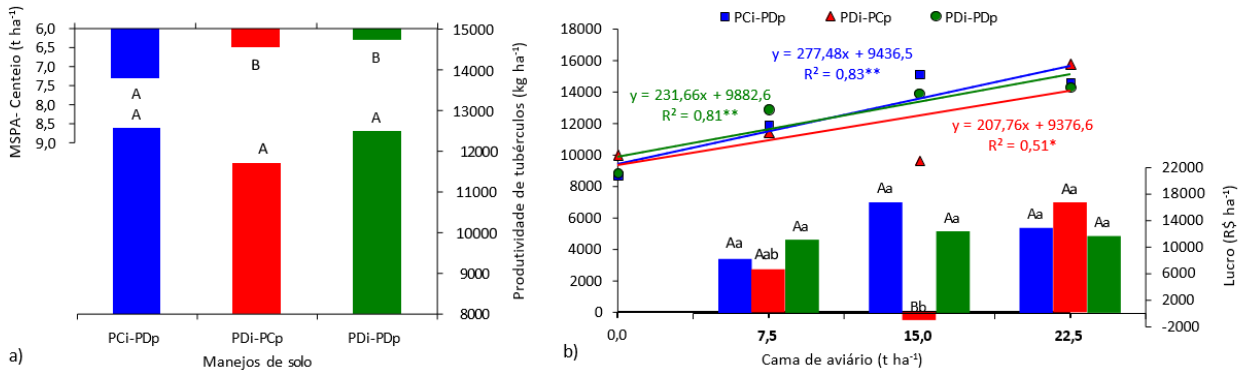


Figura 1. Produtividades de matéria seca da parte aérea de centeio 'IPR 89' e de tubérculos de batata 'IPR Cris' em função manejos de solo (a) e de doses de cama de aviário nos sulcos de plantio direto após preparo convencional (PCi-PDp) e plantio direto (PDi-PDp) de centeio no inverno, ou incorporadas ao solo após semeadura direta de centeio no inverno (PCi-PDp). Letras iguais indicam ausência de diferença ($p < 0,05$) pelo teste t de Student. ** e *, significativo a 1% e a 5% de probabilidade respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

CARTER, M. R.; HOLMSTROM, D.; SANDERSON, J. B.; IVANY, J.; DEHAAN, R. Comparison of conservation with conventional tillage for potato production in Atlantic Canada: crop productivity, soil physical properties and weed control. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.85, n. 3, p. 453-461, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Iapar, 1992. 38p. (Circular técnica, 76).

RAGASSI, C.F.; FAVARIN, J. L.; SHIRAISHI, F. A.; MOITA, A. W.; SAKO, H., MELO, P. C. T. Efeito da descompactação profunda de solo na produção da cultura da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, p.484-489, 2009.

SCHAFRANSKI, T.; KAWAKAMI, J.; NAZARENO, N.R.X.; CAMPOS, J.F.; YAGI, R. Modos de adubação orgânica com cama de aviário para a cultura da batata. In: 56o Congresso Brasileiro de Olericultura, 2022, Bento Gonçalves. **Anais [...]**, 2022.

SEAB/DERAL. **Valor Bruto da Produção– VBP 2023**. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2024-08/vbp_2023.xlsx. Acesso em 09 de março de 2025.

YAGI, R.; DOBRYCHTOP, E. C.; BITTENCOURT, H. V. H.; ANDRADE, D. S.; KAWAKAMI, J.; SORATTO, R. P. Soil tillage, straw mulching, and microalgae biofertilization in potato production in conventional and organic systems. **Potato Research**, Belgium, p. 1-20, 2024.

YAGI, R.; NAZARENO, N.R.X.; KAWAKAMI, J. Poultry litter and fresh mulch of Elephant grass improve the organic potato production. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 50, p. e57585, 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CONCENTRAÇÕES DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS DE CULTIVARES DE BATATA SOB APLICAÇÃO DE CURCUMINA E QUITOSANA EM SISTEMA AEROPÔNICO

Leonardo Catapan[1*], Edson Lucas Camilo[2], Jean Carlos Zocche[3], Jackson Kawakami[4], Marcelo Marques Lopes Müller[4]

[1]Graduando em Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), leocatapanif@gmail.com; [2]Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA)/UNICENTRO; [3]Doutorando do PPGA/UNICENTRO; [4]Professor de Solos do Departamento de Agronomia e do PPGA/UNICENTRO

RESUMO

A batata é fundamental para a alimentação humana, mas apresenta elevado custo de produção, sobretudo devido ao valor da batata-semente. A aeroponia é uma alternativa para reduzir custos, gerando até 10 vezes mais batatas-semente do que o sistema convencional, no formato de batatas-semente. Para garantir boa qualidade, porém, é fundamental a absorção adequada de nutrientes pelas plantas e acúmulo dos mesmos nos minitubérculos, o que depende da solução nutritiva. Nesse estudo, avaliou o efeito da aplicação de quitosana e curcumina na absorção de micronutrientes em duas cvs. de batata sob sistema aeropônico. As análises revelaram que os bioativos e as cvs. tiveram interação significativa, sendo a cv. Ágata com a aplicação de Quitosana com os melhores resultados. Os resultados expressam a influência dos bioativos na nutrição da cultura e a importância do manejo diferente para cada cultivar.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum tuberosum;* aeroponia; micropartícula; minitubérculos.

INTRODUÇÃO

O cultivo da batata desempenha um papel fundamental na alimentação de diversas nações, com uma produção global que chega a cerca de 330 milhões de toneladas do tubérculo (EMBRAPA, 2024), consumido de diversas formas ao redor do mundo. Mesmo sendo um dos alimentos mais acessíveis em diversos países, no campo é uma cultura com custo elevado de produção, devido principalmente ao preço da batata-semente, que no caso brasileiro vem, em sua maioria, de importações.

Em relação ao sistema convencional de produção de batata com solo, o sistema aeropônico tem como vantagens um melhor controle fitossanitário e maior produtividade de minitubérculos (CALORI, 2017), sendo uma alternativa viável para a produção comercial no caso de minitubérculos para batata-semente.

No entanto, para se ter uma boa produção nesse sistema, são necessários equipamentos específicos e de qualidade, bem como mão de obra qualificada, tendo em vista a necessidade de conhecimentos técnicos e agronômicos que visam suprir as exigências nutricionais de cada cultivar (cv.) de batata. E nesse contexto, visando uma melhor eficiência na absorção de nutrientes, têm se intensificado os testes com bioativos naturais, que podem transportar moléculas orgânicas e auxiliar no crescimento e produtividade das plantas.

Tendo isso em vista, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de quitosana e curcumina na solução nutritiva em sistema aeropônico, visando avaliar os efeitos sobre a absorção de micronutrientes por duas cvs. de batata.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em 2024, na Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Em casa de vegetação, foram instalados módulos aeropônicos (parcelas) que serviram à implantação de quatro níveis de bioativos: quitosana, curcumina, quitosana + curcumina, e testemunha. Em subparcelas, foram alocadas as cvs. Ágata e Atlantic de batata, sob delineamento de blocos casualizados com três repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As cultivares de batata foram adquiridas na forma de plântulas cultivadas *in vitro*, na Agro Soczec Agrícola LTDA. Inicialmente, as plântulas foram aclimatadas na casa de vegetação com

solução nutritiva proposta por Medeiros et al. (2002), com condutividade elétrica ajustada para 1.1 mS/cm². Posteriormente, já transplantadas nos módulos, as plantas passaram a receber aspersão de solução nutritiva com 2.2 mS/cm² e pH 6.

Os compostos bioativos foram produzidos em parceria entre o Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) e o PPG em Nanociências e Biociências (PPGNB) da UNICENTRO, sendo aplicados diretamente no sistema radicular das plantas em sistema aeropônico, aos 20 e 35 dias após o transplantio (DAT) das plântulas. Aos 15 dias após cada aplicação dos bioativos, foram coletadas folhas para análise química, em 6 plantas escolhidas aleatoriamente em cada subparcela, considerando o terceiro tufo de folhas totalmente desenvolvido a partir do ápice das plantas.

Após a coleta, as folhas foram enxaguadas em solução com detergente neutro (1%) e, depois, em água destilada para descontaminação. Em seguida, as folhas foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até peso constante. A moagem foi realizada em moinho tipo *Willey*, sendo retirados os pecíolos para obter amostras apenas do limbo foliar, como recomendado para a cultura (NEPAR-SBCS, 2019). As amostras passaram, então, por digestão nitroperclórica, para determinar as concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn), conforme metodologias descritas por EMBRAPA (2009). Os resultados foram submetidos à análise de variância sem necessidade de transformação de dados. Em caso de significância, aplicou-se teste Tukey para a comparação de médias, à 5% de significância (p<0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre as concentrações dos micronutrientes nas folhas da primeira coleta, aos 35 DAT. Na segunda coleta, aos 50 DAT, não houve efeito dos tratamentos sobre as concentrações de Fe, Mn e Cu, mas houve efeito de interação entre bioativos e cultivares na absorção de Zn (Figura 1).

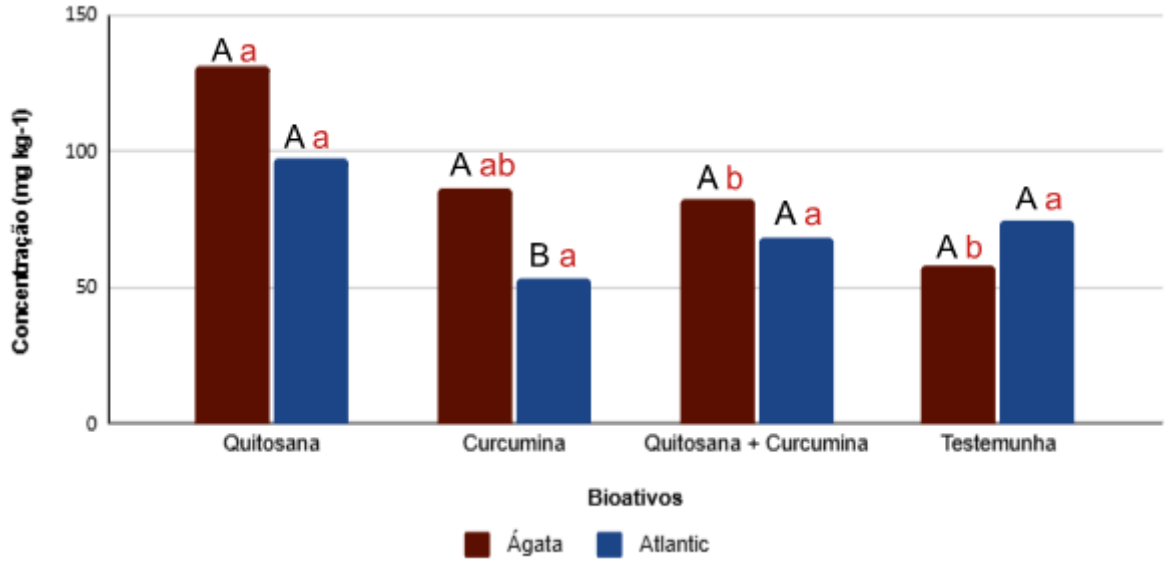


Figura 1. Concentrações foliares de zinco (Zn) nas cultivares Ágata e Atlantic sob aplicação de compostos bioativos em aeroponia, aos 50 dias após o transplante. *Letras minúsculas comparam os bioativos para cada cultivar, e maiúsculas comparam as cultivares em cada nível de bioativo, pelo teste Turkey (p<0,05).

Na cv. Ágata, a quitosana foi o bioativo mais eficiente para a absorção de Zn, aumentando a concentração foliar do nutriente em relação à combinação quitosana + curcumina e em relação à

testemunha. Na cv. Atlantic, as diferenças entre os bioativos não foram significativas. Isso sugere que a Quitosana pode ser uma ferramenta valiosa para otimizar a absorção de Zn em cultivos de batata, especialmente na cultivar Ágata.

Entre as cvs., o teor de Zn foi superior na cv. Ágata em comparação com Atlantic quando submetidas à aplicação de curcumina. Na verdade, observa-se que a curcumina diminuiu a absorção de Zn na cv. Atlantic, indicando efeito específico do bioativo conforme o genótipo da planta.

Segundo Hussain et al. (2022), assim como todo micronutriente, o Zn é essencial ao crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando diretamente nas características bioquímicas da planta, e segundo Mahmud et al. (2021), desempenha um papel importantíssimo na produtividade de tubérculos de batata. Em níveis ótimos, Zn pode melhorar a absorção de outros elementos minerais relacionados à nutrição da batata, a exemplo do magnésio (MOUSA, 2009).

Vale ressaltar que, conforme o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, as concentrações foliares de referência para cultura da batata estão na faixa de 20 a 60 mg kg^{-1}. No presente estudo, os valores foram superiores, na faixa entre 131,65 e 53,63 mg kg^{-1}, ficando abaixo dessa faixa de suficiência apenas na combinação de curcumina com a cv. Atlantic.

Em alguns casos, a adubação mineral com Zn, quando em excesso, pode afetar o desenvolvimento das plantas (MENG et al., 2023), no entanto, o uso de bioativos , que são multi sítio de ação, é uma alternativa interessantes para o manejo eficiente das culturas, não tendo registros de efeito tóxico em plantas de batata, o que se justifica, principalmente, pela ativação de sistemas de eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) como parte dos efeitos anti estresse dos bioativos (SREE RAYANOOTHALA et al., 2024).

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstram que a aplicação de bioativos pode influenciar significativamente a nutrição das plantas. A Quitosana se destacou como bioativo eficaz para aumentar a absorção de zinco na cultivar Ágata de batata em sistema aeropônico.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa em Solos e Nutrição de Plantas da UNICENTRO e grupo de pesquisa em grandes culturas professor Jackson Kawakami e seus bolsistas, à FAEP/SENAR e à Fundação Araucária pelo fomento.

BIBLIOGRAFIA

CONAB. **Batata inglesa**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/795-batata-inglesa>. Acesso em: 25 fev. 2025

CALORI, A. H. **Produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia: manejo nutricional e cultural**. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/teses_dissertacoes/pb1563113.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MENG, Y. et al. Toxicity effects of zinc supply on growth revealed by physiological and transcriptomic evidences in sweet potato (Ipomoea batatas (L.) Lam). **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 19203, 6 nov. 2023.

HUSSAIN, S. et al. Improvement of Growth, Yield and Biochemical Properties of Potato (Solanum tuberosum L. “Montreal” and “Red Bull”) by Foliar Application of Zinc Under Calcareous Soil Conditions. **Gesunde Pflanzen**, v. 74, n. 3, p. 561–570, 1 set. 2022.

INGLE, P. U. et al. Chitosan nanoparticles (ChNPs): **A versatile growth promoter in modern agricultural production**. Heliyon, v. 8, n. 11, p. e11893, 2022.

KAWAKAMI, J. Redução da adubação e doses e parcelamento de nitrogênio no crescimento e produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 168–173, jun. 2015.

MEDEIROS, C. A. B. et al. Production of potato pre-basic seeds in hydroponic systems. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 110–114, mar. 2002.

SREE RAYANOOTHALA, P. et al. Unveiling the protective role of chitosan in plant defense: A comprehensive review with emphasis on abiotic stress management. **Crop Design**, v. 3, n. 4, p. 100076, 1 nov. 2024.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná** – Curitiba

Mousa, M. A. A.; Effect of zinc plus manganese foliar application on potato performance and quality. **Assiut Journal of Agricultural Sciences**. Vol.40, 2009.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CURCUMINA E QUITOSANA VIA RADICULAR NA NUTRIÇÃO DE CULTIVARES DE BATATA EM SISTEMA AEROPÔNICO

Vinícius Zanlorenzi[1*], Edson Lucas Camilo[2], Jean Carlos Zocche[3], Jackson Kawakami[4], Marcelo Marques Lopes Müller[4]

[1]Graduando em Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), viniciuszanlorenzi1408@gmail.com; [2]Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA)/UNICENTRO; [3]Doutorando do PPGA/UNICENTRO; [4]Professor de Solos do Departamento de Agronomia e do PPGA/UNICENTRO

RESUMO

A batata enfrenta desafios na produção devido ao alto custo da batata-semente. O cultivo aeropônico surge como alternativa para aumentar a produção de batata-semente e reduzir a dependência de importação, mas é essencial avaliar estratégias que melhorem a absorção de nutrientes pela cultura nesse sistema. Este estudo investigou o efeito da aplicação de curcumina e quitosana na absorção mineral de cultivares (cv.) de batata em sistema aeropônico. Análises foliares indicaram que a quitosana aumentou a absorção de fósforo na cv. Ágata. Os teores de nitrogênio e magnésio responderam aos tratamentos na cv. Atlantic, e houve efeito sobre o cálcio na cv. Ágata. Para potássio e enxofre não houve efeito significativo. Os resultados demonstram que o uso de bioativos pode influenciar a nutrição mineral da batata, mas seu efeito varia conforme a cv., destacando a importância de considerar características genéticas no manejo nutricional em sistemas aeropônicos.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum tuberosum;* aeroponia; bioinsumos; minitubérculos.

INTRODUÇÃO

A batata é a terceira maior fonte de alimento do mundo (EMBRAPA, 2016), sendo um dos grandes desafios para sua produção a obtenção de materiais propagativos em quantidade e qualidade adequadas, visto que o custo da batata-semente representa cerca de 28% do custeio total da cultura (CONAB, 2024). Para estimular a produção interna e reduzir a dependência de importação, é essencial a investigação e adoção de novos sistemas produtivos de batata-semente.

O cultivo aeropônico se destaca por permitir elevada taxa de multiplicação e produtividade (Calori, 2017), além de proporcionar maior controle fitossanitário, pois, por se tratar de ambiente controlado e livre de solo ou substrato, reduz a incidência de patógenos de solo (Factor *et al.*, 2007). No entanto, apresenta desafios como alto custo de investimento inicial e necessidade de mão-de-obra qualificada, especialmente para o manejo nutricional e cultural da batata neste sistema.

Nesse contexto, estratégias que beneficiem a absorção de nutrientes podem contribuir para maior eficiência do cultivo aeropônico, e o uso de bioativos naturais tem se mostrado promissor, pois esses compostos podem atuar como transportadores de moléculas orgânicas, intensificadores do crescimento vegetal e como agentes contra fungos e bactérias patogênicas , e quando na forma particulada, esses bioativos podem apresentar maior eficiência devido ao menor peso molecular e maior meia-vida, resultando em uma biodisponibilidade aprimorada (Ingle *et al.*, 2022).

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de curcumina e quitosana na absorção e acúmulo de nutrientes em cvs. de batata cultivadas em sistema aeropônico, buscando identificar possíveis benefícios desses bioativos na nutrição mineral de batata.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em 2024, sob sistema de cultivo aeropônico em casa de vegetação, no *Campus* CEDETEG da Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná (UNICENTRO), em Guarapuava-PR. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições e parcelas subdivididas,

totalizando 24 unidades experimentais. Foram avaliados bioativos como fator principal, nas parcelas (módulo aeropônico): testemunha, quitosana, curcumina, quitosana + curcumina. As cvs. Ágata (consumo) e Atlantic (indústria) figuraram como fator secundário (subparcela).

As cvs. de batata foram adquiridas na forma de plântulas *in vitro*, da empresa Agro Soczec Agrícola LTDA. Inicialmente, os materiais foram aclimatados com solução nutritiva proposta por Medeiros *et al*. (2002), monitorando-se para manter a condutividade elétrica próxima de 1,1 mS/cm². Após o processo de aclimatação, as plântulas foram transplantadas para os módulos aeropônicos, sob aspersão de solução nutritiva com condutividade elétrica ajustada para 2,2 mS/cm² e pH 6,0.

A produção dos compostos ativos foi realizada pelo Programa de Pós-Graduação em Nanociências e Biociências – PPGNB, em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGA, ambos da UNICENTRO. Tais compostos foram aplicados diretamente no sistema radicular da plantas de batata em sistema aeropônico, aos 20 e 35 dias após o transplantio (DAT) das plântulas. Aos 15 dias após cada aplicação dos bioativos, foram coletadas folhas para análise química, em 6 plantas escolhidas aleatoriamente em cada subparcela, considerando o terceiro tufo de folhas totalmente desenvolvido a partir do ápice das plantas.

Após a coleta, as folhas foram enxaguadas em solução com detergente neutro (1%) e, depois, em água destilada para descontaminação. Em seguida, as folhas foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até peso constante. A moagem foi realizada em moinho tipo *Willey*, sendo retirados os pecíolos para obter amostras apenas do limbo foliar, como recomendado para a cultura (NEPAR-SBCS, 2019). As amostras passaram, então, por digestão sulfúrica, para determinar teores de nitrogênio (N), e digestão nitroperclórica, para determinar teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), conforme metodologias descritas por Raij *et al*. (2001) e EMBRAPA (2009).

Os resultados foram submetidos à análise de variância sem necessidade de transformação de dados. Em caso de significância, aplicou-se teste Tukey para a comparação de médias, à 5% de significância (p<0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito dos tratamentos após a 1ª aplicação dos bioativos (20 DAT), com coleta de folhas aos 35 DAT. Mas, houve significância após a 2ª aplicação (35DAT), com coleta aos 50 DAT. Os teores de P foram afetados pela interação cultivares x bioativos. Na cv. Atlantic, não houve efeito, mas na cv. Ágata a quitosana aumentou a absorção de P em relação aos demais bioativos e testemunha (figura 1), sem diferença entre os demais tratamentos. Com quitosana, o teor de P foi maior na cv. Ágata em comparação com Atlantic.

O P é o principal elemento para produção de ATP e é indispensável para multiplicação celular, sendo seu efeito dependente do balanço hormonal das plantas para ser utilizado no crescimento vegetativo, ou ser transportado para os estolões, onde pode contribuir com maiores teores de P na formação de tubérculos de batata-semente (Saidi; Hajibarat, 2021). A faixa adequada de P nas folhas de batata, segundo o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná é 2,5 – 5,0 g kg^{-1}, tendo sido superada pelo tratamento com quitosana na cultivar Ágata (figura 1), o que pode justificar o maior número de tubérculos por planta observado no sistema aeropônico na combinação de tratamentos (outro estudo).

Houve efeito das cultivares sobre os teores foliares de N, Ca e Mg (figura 2). Os teores de N obtidos no presente estudo, em condições aeropônicas aos 50 DAT, são condizentes com os do trabalho conduzido por Coelho *et al*. (2010), que ao avaliarem o efeito de doses de N em diferentes cultivares de batata (Ágata e Asterix), obtiveram teores foliares médios entre 43 e 63 g kg^{-1} para cv. Ágata e entre 48 e 71 g kg^{-1} para cv. Asterix, aos 21 dias após a emergência. Na cultivar Atlantic, o teor de N superou a faixa de teores adequados.

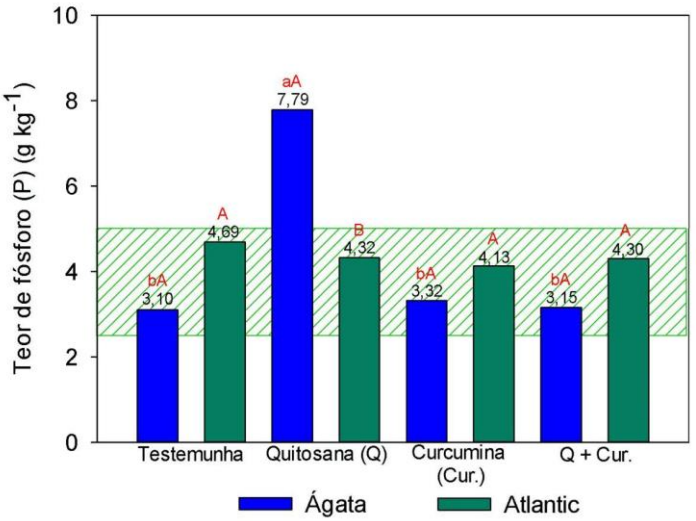


Figura 1. Teores foliares de fósforo (P) nas cultivares Ágata e Atlantic sob aplicação de compostos bioativos em aeroponia, aos 50 dias após o transplante. *Letras minúsculas comparam os bioativos na cultivar Ágata e letras maiúsculas comparam as cultivares em cada nível de bioativo, pelo teste Turkey (p<0,05). A área verde representa a faixa de teores adequados de P para a cultura (NEPAR-SBCS, 2019).

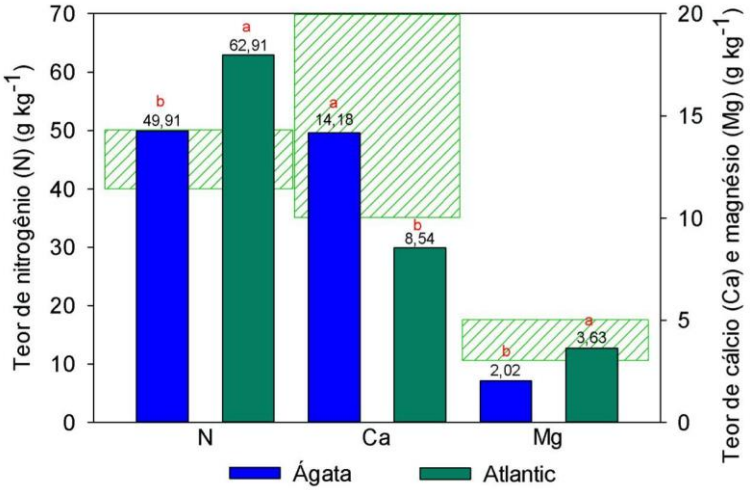


Figura 2. Teores foliares de nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas cultivares Ágata e Atlantic, sob aplicação de compostos bioativos em aeroponia, aos 50 dias após o transplante. *Letras minúsculas comparam cultivares para cada nutriente, pelo teste Turkey (p<0,05). As áreas verdes representam as faixas de teores adequados de N, Ca e Mg para a cultura (NEPAR-SBCS, 2019).

Teores elevados de N podem diminuir a matéria seca de tubérculos, reduzindo a qualidade de fritura, aptidão predominante da cv. Atlantic (Kawakami, 2015). Porém, como as plantas da cv. Atlantic têm porte maior, ciclo mais longo (±140 dias) e desenvolvem maior número de folhas em relação a cv. Ágata, que tem ciclo mais curto (±90 dias), isso pode ser benéfico nas fases iniciais de formação das plantas e dos minutubérculos no módulo aeropônico, já que nesse trabalho se tratam de plantas que produzirão batatas-semente.

Para Ca, ocorreram maiores teores na cv. Ágata, em média 66% maior na comparação com a cultivar Atlantic, que apresentou teor abaixo da faixa de suficiência para a cultura (Figura 2). No caso do Mg, o

comportamento foi inverso, com maiores teores na cv. Atlantic, cerca de 80% maior que o observado na cultivar Ágata, a qual apresentou teor inferior à faixa adequada para a cultura (NEPAR-SBCS, 2019).

Os teores foliares de K e S não foram afetados pelos tratamentos, registrando-se médias experimentais de 43,83 e 3,75 g kg^{-1}, respectivamente, classificados na faixa adequada para a cultura conforme o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR-SBCS, 2019).

CONCLUSÕES

A utilização de quitosana apresentou efeito positivo sobre o teor foliar de P na cultivar Ágata, melhorando a eficiência de absorção do nutriente. Nesse sistema de produção, foram observadas diferenças entre as cultivares quanto aos teores foliares de N, Ca e Mg, sendo que Ca e Mg ficaram abaixo da faixa considerada adequada para a cultura dependendo da cultivar, demandando mais estudos para verificar demandas distintas das cultivares, bem como avaliar formulações específicas de soluções nutritivas para cada cultivar.

AGRADECIMENTOS

Aos Grupos de Pesquisa em Solos e Nutrição de Plantas e em Grandes Culturas da UNICENTRO, pela ajuda no experimento na casa de vegetação e nas análises laboratoriais. À Fundação Araucária, CAPES e CNPq pelas bolsas e fomentos à pesquisa. Ao Doutorando Jean Carlos Zocche, por todo o ensinamento quanto aos seus experimentos de tese e ajuda nas análises estatísticas.

BIBLIOGRAFIA

CONAB - Batata inglesa. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/795-batata-inglesa>. Acesso em: 25 fev. 2025

CALORI, A. H. PRODUÇÃO DE MINITUBÉRCULOS DE BATATA-SEMENTE EM AEROPONIA: MANEJO NUTRICIONAL E CULTURAL. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/teses_dissertacoes/pb1563113.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. de C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175–1183, ago. 2010.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

FACTOR, T. L. *et al*. **Produção de minitubérculos básicos de batata em três sistemas hidropônicos**. Horticultura brasileira, v. 25, n. 1, p. 82–87, 2007.

INGLE, P. U. *et al*. Chitosan nanoparticles (ChNPs): **A versatile growth promoter in modern agricultural production**. Heliyon, v. 8, n. 11, p. e11893, 2022.

KAWAKAMI, J. Redução da adubação e doses e parcelamento de nitrogênio no crescimento e produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 168–173, jun. 2015.

MEDEIROS, C. A. B. *et al*. Production of potato pre-basic seeds in hydroponic systems. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 110–114, mar. 2002.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A., Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

SAIDI, A.; HAJIBARAT, Z. Phytohormones: plant switchers in developmental and growth stages in potato. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 19, n. 1, p. 89, 1 dez. 2021.

NEPAR-SBCS. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba-PR. SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. 289 p.

EMBRAPA. **Sistema de produção de batata - Portal Embrapa**. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3995/sistema-de-producao-de-batata>. Acesso em: 7 mar. 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFICIÊNCIA DE FORMULADOS PARA FERTIRRIGAÇÃO EM CULTIVO DE SOLANÁCEAS

Letícia de Pierri[1*], Pedro Guilherme Staniski[2], Amanda Serpa Szabo[3]
[1]Professor, PUCPR; [2,3]Estudante de graduação, PUCPR. leticia.pierri@pucpr.br *.

RESUMO

A disponibilidade de formulados para fertirrigação é variada, o que pode dificultar a escolha pelo produtor. O objetivo deste trabalho é estudar o efeito de formulados para fertirrigação na produtividade e balanço nutricional de tomate e pimentão. Dois experimentos foram realizados, um por cultura, avaliando-se os tratamentos: testemunha (T1), solução IAC (T2); Dripsol (T3); e Hoagland e Arnon (T4). As produtividades e os teores de macro e micronutrientes foliares foram determinados. O formulado comercial Dripsol promoveu maior produtividade para o tomate (1.781 g/planta) e para o pimentão as produtividades entre os formulados não diferiu. Embora o Dripsol tenha resultado em boas produtividades, esse é o formulado de maior custo por planta. A solução Hoagland e Arnon resultou em acúmulo de Mg foliar até 36% superior ao recomendado para as solanáceas. Conclui-se que a solução nutritiva desenvolvida pelo IAC resulta no melhor custo-benefício geral, considerando produtividade e nutrição vegetal balanceada.

PALAVRAS-CHAVE: adubação; solução nutritiva; *Solanum lycopersicum* L.; *Capsicum annuum* L.

INTRODUÇÃO

A adubação é dos principais componentes do custo variável na agricultura. No entanto, a adubação via solo ainda é pouco eficiente e, assim, técnicas de adubação mais eficientes têm sido propostas, buscando otimizar a absorção de nutrientes pelas plantas. A fertirrigação é uma delas, pois busca promover um melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, uma vez que a solução nutritiva pode ser ajustada conforme o estádio fenológico da cultura, se adequando às necessidades da planta em cada etapa do ciclo.

Apesar disso, quando manejada incorretamente, a fertirrigação pode causar prejuízos ao produtor, pois estão disponíveis diferentes recomendações de formulados para o preparo das soluções nutritivas, embora algumas não possuam eficácia comprovada (REIS, 2022). Em campo, observa-se que muitos agricultores agem de maneira empírica, testando soluções que melhor se adequam ao sistema produtivo, ou adquirindo soluções comerciais disponíveis em revendas sem recomendação técnica adequada.

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e o pimentão (*Capsicum annuum* L.) pertencem à família Solanaceae, sendo culturas exigentes em nutrientes e que possuem elevado valor agregado. A fertirrigação para as culturas do tomate e do pimentão pode ser realizada a partir de diversas soluções nutritivas, sendo as mais comuns, baseadas em formulados comerciais (como Dripsol®), ou com base na recomendação do Boletim Técnico 196 do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (TRANI; TIVELLI; CARRIJO, 2011). Algumas soluções nutritivas genéricas para diversas espécies, como a desenvolvida por Hoagland e Arnon na década de 50, ainda são utilizadas na pesquisa, mas com pouca aplicação prática.

Curitiba está inserida no cinturão verde do estado, com expressiva produção de hortifrutigranjeiros (HFs). Como os sais utilizados na elaboração dos formulados representam boa parcela dos custos de produção de HFs em sistema de fertirrigação, tornam-se necessárias pesquisas mais aprofundadas sobre a efetividade de diferentes formulados para a nutrição otimizada de Solanáceas em cultivo protegido. O objetivo deste trabalho é estudar o efeito de formulados para fertirrigação na produtividade e balanço nutricional de tomate e pimentão.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos simultâneos, para avaliação do desenvolvimento de tomate e pimentão sob fertirrigação. Para o cultivo do tomateiro, um experimento em delineamento inteiramente

casualizado (DIC) foi instalado em estufa plástica no município de Mandirituba/PR no ano de 2023. Foram utilizadas plantas de tomate tipo salada, variedade Matinela, cultivadas em vasos de 8L, com substrato composto de turfa e casca de pinus, conduzidas por fitilhos com 2 hastes/planta e realizada a desbrota dos ramos laterais e poda apical em altura máxima de 1,9 m. A irrigação foi realizada por gotejamento. Os vasos foram fertirrigados três vezes por semana, com aplicação de 300 ml da solução concentrada por tratamento e por vaso, enquanto o restante da necessidade hídrica da cultura foi fornecido pelo gotejamento. Os tratos culturais ocorreram de acordo com as recomendações para a cultura. O experimento avaliou quatro tratamentos (Tabela 1): testemunha sem adubação (T1), formulado do IAC (T2); formulado comercial Dripsol (T3); e formulado Hoagland e Arnon (T4), com oito repetições por tratamento. Para quantificar a produtividade foram colhidos todos os frutos da planta após 90 DAP que foram pesados em uma balança digital. Adicionalmente, foram amostradas 10 folhas compostas por tratamento no terço médio da planta, que foram higienizadas com água deionizada no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da PUCPR. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa até peso constante, moídas, tamisadas e analisadas quanto aos teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu, Ni e B conforme metodologia descrita em Martins e Reissmann (2007), com quantificação dos nutrientes por espectrofotometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (IPC-OES) no Laboratório de Análises Ambientais da PUCPR.

Tabela 1. Dose semanal de fertilizantes (g/planta), de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura e formulado. Fontes: os autores (2025), adaptado de Trani *et al* (2015), SQM (2023) e Genúncio (2005).

T2 - IAC						
DAT	**MAP**	**$MgSO_4$**	**K_2SO_4**	**KNO_3**	**$Ca(NO_3)_2$**	**Mix Micro[1]**
10-35 dias	1,2	0,6	0,15	2,1	0,6	0,09
36-60 dias	1,5	1,95	0,15	3,3	2,7	0,105
61-90 dias	0,9	3,3	0,9	3,6	2,7	0,12
91-150 dias	0,9	2,7	1,65	4,5	3,6	0,12
T3 - Dripsol						
DAT	**Dripsol +RAIZ**	**DripSol Solanaceas**	**DripSol Produção**	**$MgSO_4$**	**$Ca(NO_3)_2$**	**Mix Micro[1]**
10-35 dias	6	-	-	-	-	-
36-60 dias	-	8	-	2	3	0,02
61-90 dias	-	12	-	3	3	0,02
91-150 dias	-	-	12	3	3	0,02
T4 – Hoagland e Arnon[2]						
DAT	**MAP**	**$MgSO_4$**	**K_2SO_4**	**KNO_3**	**$Ca(NO_3)_2$**	**MKP**
10-35 dias	0,05	0,75	0,48	0,57	0,85	0,07
36-60 dias	0,05	0,75	0,48	0,57	0,85	0,07
61-90 dias	0,05	0,75	0,48	0,57	0,85	0,07
91-150 dias	0,05	0,75	0,99	2,70	0,85	0,07

[1]**Mix Micro:** B (%1,82%); Cu (1,82%); Fe (7,265%); Mn (1,82%); Mo (0,36%); Zn (0,73%); Ni (0,36%). [2]**Hoagland e Arnon:** KCl (128 mg/planta); $MnSO_4$ (19,2 mg/planta); $ZnSO_4$ (2,3 mg/planta); H_3BO_3 (29,4 mg/planta); $CuSO_4$ (1,5 mg/planta); $NaMoO_4$ (0,3 mg/planta); FeEDDHA 6% (105 mg/planta).

O segundo experimento, com o plantio de pimentão, foi implantado em casa de vegetação na Fazenda Experimental Gralha Azul da PUCPR, município de Fazenda Rio Grande/PR no ano de 2023. O experimento contou com cinco repetições em DIC, seguindo os mesmos tratamentos descritos para o cultivo do tomateiro. Mudas de pimentão Casca Dura Ikeda foram transplantadas para vasos de seis litros preenchidos com substrato Carolina Soil. Os vasos receberam água diariamente através de irrigação controlada por gotejamento e as plantas dos tratamentos T2, T3 e T4 receberam 500 mL da solução nutritiva respectiva de cada tratamento por semana, conforme o estádio fenológico (Tabela 1). Foram realizados tratos culturais conforme recomendação da cultura, incluindo o tutoramento com o uso da espaldeira simples. A avaliação de produtividade e a análise de tecido foliar seguiram os mesmos procedimentos realizados no experimento anterior, com coleta de 10 folhas maduras por planta para a quantificação dos teores de nutrientes do tecido foliar (Martins e Reissmann, 2007; determinação por ICP-OES).

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

Os dados foram verificados quanto aos pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias. Após verificação, optou-se por comparar os tratamentos através do teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$). A análise estatística foi realizada no software Assistat®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resposta em produtividade diferiu com relação às espécies (Figura 1). O tomate apresentou maior produção de frutos no T3 (Dripsol), não diferindo do T2 (IAC), porém para o pimentão, a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (T4) resultou em maior produtividade apenas em comparação à testemunha. Como esperado, o T1 apresentou produtividades irrisórias para ambas as espécies. De acordo com dados não publicados de Staniski e Pierri (2024), o custo com os formulados avaliados é de R$1,26/planta para o T2; R$2,73/planta para o T3; e R$0,41/planta para o T4. Assim, embora a produtividade seja maior para o tomate no T3, o custo com o formulado Dripsol é elevado, indicando que a escolha mais econômica ao produtor seria a formulação do IAC. Para o pimentão, a solução Hoagland e Arnon (T4) resultaria em melhor retorno econômico (maior produtividade e menor custo com a solução).

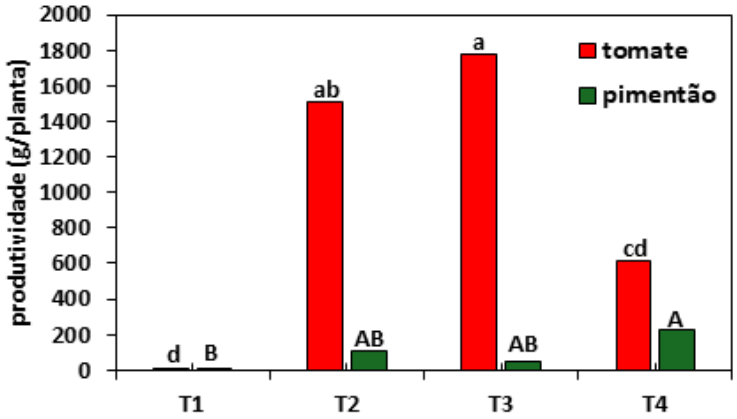


Figura 12. Produtividade de tomate e pimentão submetidos a formulados para fertirrigação. T1 – testemunha; T2 – solução IAC; T3 –Dripsol; T4 –Hoagland e Arnon. Mesma letra minúscula para o tomate e maiúscula para o pimentão não diferem entre si (Kruskal-Wallis, comparação de médias pelo teste de LSD de Fisher ($p < 0,05$)).

A Tabela 2 apresenta os teores de macro e micronutrientes do tecido foliar das espécies em estudo. De acordo com Marouelli e Silva (2002), os níveis adequados de nutrientes na folha do tomateiro para uma nutrição balanceada variam entre 3-6 g kg^{-1} de P; 30-50 g kg^{-1} de K; 10-30 g kg^{-1} de Ca; 4-6 g kg^{-1} de Mg; 30-100 mg kg^{-1} de B; 5-15 mg kg^{-1} de Cu; 40-200 mg kg^{-1} de Fe; 40-250 mg kg^{-1} de Mn; e 20-50 mg kg^{-1} de Zn. Apenas para Mg e Cu no T4 foi verificado variação acima de 25% dos teores mencionados (Tabela 2), indicando consumo de luxo desses nutrientes, o que pode estar relacionado com a diminuição da produtividade do tomate nesse tratamento (Figura 1). Os teores de Ca e Fe também foram os mais elevados para as plantas suplementadas com a solução Hoagland e Arnon (Tabela 2).

Com relação ao pimentão, Marcussi (2005) e Marcussi e Villas Bôas (2003) citam que os teores de macro e micronutrientes foliares de pimentão híbrido Elisa submetidos à fertirrigação variaram entre 1,4-15,5 g kg^{-1} de P; 40,3-60 g kg^{-1} de K; 20-31,8 g kg^{-1} de Ca; 6,1-11,3 g kg^{-1} de Mg; 34-62 mg kg^{-1} de B; 5-12 mg kg^{-1} de Cu; 137-216 mg kg^{-1} de Fe; 64-122 mg kg^{-1} de Mn; e 79-124 mg kg^{-1} de Zn. Os resultados obtidos com a presente pesquisa indicam que os teores de B absorvidos pelo pimentão Casca Dura Ikeda foram até 5,8 vezes superiores aos dos trabalhos mencionados. Ainda, os teores de Ca e Mn foram inferiores aos relatados no híbrido Elisa, e o teor de Mg foi 36% superior no T4, também indicando consumo excessivo desse

elemento na solução Hoagland e Arnon, assim como para o tomateiro. Embora a dose de Mg tenha sido a menor entre os formulados para o T4 (Tabela 1), ela se mantém fixa ao longo dos estádios fenológicos, o que pode ter resultado em acúmulo desse nutriente nas folhas.

Tabela 2. Teores de macro e micronutrientes no tecido foliar de tomate e pimentão submetidos à formulados para fertirrigação. Teores com a mesma letra na coluna não diferem entre si (Kruskal-Wallis, comparação de médias pelo teste de LSD de Fisher ($p < 0,05$)) ns: não significativo.

Tratamentos		K	P	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	B
		g kg^{-1}					mg kg^{-1}				
Tomate	T1	20,7 ns	3,2 ns	18,2 c	6,4 a	97,2 c	10,6 ns	34,3 ns	25,1 ns	1,8 ns	62,3 ns
	T2	24,5	2,5	26,0 b	5,4 a	128,4 b	11,1	61,6	21,4	1,9	81,6
	T3	25,4	2,8	20,3 bc	4,7 b	120,5 bc	10,6	62,1	25,9	2,0	79,9
	T4	26,9	3,2	33,7 a	13,0 a	158,1 a	19,2	89,6	35,6	2,1	68,5
Tratamentos		K	P	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	B
		g kg^{-1}					mg kg^{-1}				
Pimentão	T1	25,7 ns	1,8 c	9,5 ns	5,6 ns	141,4 ns	3,8 ns	21,2 c	44,1 ns	2,4 ns	131,7 ns
	T2	37,5	4,4 b	11,9	8,6	131,5	5,4	41,7 b	65,0	2,9	134,7
	T3	32,4	10,8 a	8,1	6,6	182,6	16,6	68,7 a	91,7	5,6	364,8
	T4	40,5	2,6 c	15,3	17,6	193,7	5,5	39,7 b	65,3	3,3	178,9

T1 – testemunha; T2 – solução IAC; T3 – Dripsol; T4 –Hoagland e Arnon.

CONCLUSÕES

O formulado comercial Dripsol promove maior produtividade para o tomate, embora esse seja o formulado de maior custo por planta. Para pimentão, as produtividades entre os três formulados avaliados não difere. A solução Hoagland e Arnon resulta em acúmulo excessivo de Mg foliar nas solanáceas. A solução nutritiva desenvolvida pelo IAC resulta no melhor custo-benefício geral, considerando produtividade e nutrição vegetal balanceada.

BIBLIOGRAFIA

GENÚNCIO, G.C. **Racionalização do Uso de Nutrientes para o Cultivo Hidropônico do Tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. 2005. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

MARCUSSI, F.F.N. Uso da fertirrigação e teores de macronutrientes em plantas de pimentão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 642-650, 2005.

MARCUSSI, F.F.N.; VILLAS BÔAS, R.L. Teores de micronutrientes no desenvolvimento da planta de pimentão sob fertirrigação. **Irriga**, v. 8, n. 2, p. 120-131, 2003.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Tomateiro para processamento industrial: irrigação e fertirrigação por gotejamento.** Circular Técnica n° 30. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2002. 32p.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, v. 8, p.1-17, 2007.

REIS, L.C.F. **Efeito da monda de frutos na qualidade e produtividade de quatro cultivares de tomate (Solanum lycopersicum L.) em estufa**. 2022. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana Castelo-Portugal, 2022.

SQM. **Dripsol Tomate**. 2023. Disponível em: http://www.sqm-vitas.com/mv/pt-br/nutri%C3%A7%C3%A3ovegetaldeespecialidade/aplica%C3%A7%C3%A3ofertirriga%C3%A7%C3%A3o/porculturas/dripsol%C2%AEtomate.aspx. Acesso em: 22 out. 2023.

TRANI P.E, KARIYA, E.A.; HANAI, S.M.; ANBO, R.H.; BASSETO JÚNIOR, O.B.; PURQUERIO, L.F.V.; TRANI, A.L. **Calagem e adubação do tomate de mesa.** Campinas: IAC, n. 215, 2015. 35p.

TRANI, P.E.; TIVELLI, S.W.; CARRIJO, O.A. **Boletim Técnico IAC 196.** Fertirrigação em hortaliças. Campinas: Instituto Agronômico, 2011. 51 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NA COBERTURA DAS ENTRELINHAS DO VINHEDO: MIX DE PLANTAS DE COBERTURA EM SISTEMA ORGÂNICO E PLANTAS VOLUNTÁRIAS EM SISTEMA CONVENCIONAL

Sara Ferreira Orides[1*], Guilherme Sanvesso de Paula[1], Leonardo Catapan[1], Elizandra de Oliveira Franco[2], Marcelo Marques Lopes Müller[3]

[1]Graduandos em Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), saraorides04@gmail.com; [2]Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da UNICENTRO; [3]Professor Dr., Depto. Agronomia e PPGA da UNICENTRO.

RESUMO

Esse estudo foi realizado num vinhedo de Guarapuava-PR. O talhão selecionado, implantado em 2021, foi dividido em duas parcelas, mantendo-se o sistema convencional (SC) em uma, e a outra foi convertida ao sistema orgânico (SO). Em março de 2024 (pós-colheita da uva), a parcela SO foi sobressemeada com mix de nabo-forrageiro + trigo mourisco + ervilha forrageira + milheto, e a cobertura vegetal presente nas entrelinhas de ambas as parcelas, constituída de capim sempre verde, capim-vassoura, braquiaria e cevadilha, foi roçada. No final de julho, amostras da fitomassa foram coletadas nas parcelas para análise. Os teores de macronutrientes foram estatisticamente equivalentes em SC e SO. A similaridade nos teores indica que ambos os sistemas têm condições de reciclar e fornecer nutrientes para as videiras, mesmo SO recebendo fontes de nutrientes (esterco, pó de rocha) menos solúveis e prontamente disponíveis em comparação às fontes sintéticas utilizadas em SC.

PALAVRAS-CHAVE: biomassa; necromassa; adubos verdes; reciclagem.

INTRODUÇÃO

A viticultura é a ciência que visa produzir uvas e permitir a fabricação do vinho, atividade econômica e socialmente importante mundo afora, especialmente sob clima temperado, tendo como foco garantir a nutrição e desenvolvimento adequados da videira, sob influência de fatores como fertilidade do solo e manejo produtivo. A cultivar 'Sangiovese' (*Vitis vinifera*), muito usada na produção de vinhos finos na Europa, mas iniciando em termos de cultivo comercial no Brasil, demanda suprimento equilibrado de nutrientes para expressar seu potencial produtivo e qualitativo (Faria *et al*., 2005), não se tendo detalhes sobre seu comportamento produtivo no campo e qualidade do vinho para muitas regiões e sistemas produtivos.

Os sistemas convencional (SC) e orgânico (SO) diferem na dinâmica de nutrientes no solo e nas plantas. SC emprega controle químico de plantas espontâneas e fertilizantes sintéticos, enquanto SO privilegia o uso de caldas fitossanitárias, que também contêm nutrientes, além de adubos orgânicos, fontes minerais naturais e plantas de cobertura, favorecendo a estrutura do solo e a retenção de nutrientes (Silva e Moura, 2012).

A introdução de plantas de cobertura pode aumentar a ciclagem de nutrientes, beneficiando a nutrição da videira e reduzindo impactos ambientais (Campos, 2013). Plantas de cobertura nas entrelinhas do vinhedo podem fixar nitrogênio (N), mobilizar potássio (K) e enxofre (S), solubilizar fósforo (P) e enriquecer o solo com matéria orgânica (MO), como observado com os trevos vermelho e branco, enquanto manter o solo descoberto contribui para reduzir a MO e aumentar a densidade do solo, reduzindo a fertilidade natural com impactos sobre a produtividade e qualidade das colheitas (EMBRAPA, 2021).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os teores de nutrientes nas coberturas de entrelinha do vinhedo, sob manejo de SC e SO em Guarapuava, na entressafra de 2024.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vinhedo comercial localizado em Guarapuava-Paraná (25º27'26,17"S; 51º31'5,67"O; 1.000 m). O clima predominante é classificado como Cfb (Köppen-Geiger), caracterizado por verões amenos (mesotérmico), temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C, sem estação seca definida e com incidência de geadas no inverno (Caviglione *et al*., 2000). O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Regolítico distrófico, conforme a EMBRAPA (2006).

O vinhedo foi implantado em 2021, e o talhão escolhido é da cultivar 'Sangiovese' enxertada sobre o porta-enxerto "Paulsen 1103" (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*). O sistema de condução é o de espaldeira, com espaçamento de 2,5 m entre linhas e 1,0 m entre plantas, totalizando uma densidade de 4.000 plantas por hectare (ha). Em junho de 2023, a área foi dividida em duas parcelas de 1.000 m² cada, compostas por sete linhas de plantio de videiras e seis entrelinhas úteis, além de três linhas de bordadura nas extremidades externas e três entre as parcelas, implantando-se dois sistemas: convencional (SC) e orgânico (SO).

A parcela SC recebeu aplicações de inseticidas, fungicidas e herbicidas na linha de plantio, fertilizantes sintéticos (NPK, ureia) em área total e roçada nas entrelinhas para manejo da cobertura espontânea, de capim sempre-verde (*Axonopus compressus*), capim-vassoura (*Paspalum paniculatum*), Braquiaria (*Brachiaria brizantha*), cevadilha (*Bromos cartaticus*), com alguns indivíduos de trevo-vermelho (*Trifolium pratense L.*) e trevo-branco (*Trifolium repens L.*). A parcela SO recebeu cobertura plástica nas linhas, suspendeu-se a aplicação de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, e deu-se início à aplicação de caldas (bordalesa e sulfocálcica), óleo de Neem, pós de rocha (fonólito e fosfato natural), e esterco de peru como fontes de nutrientes. A cobertura vegetal da entrelinha, até a colheita da safra 2023/2024, permaneceu a mesma em relação a SC, sendo roçada.

Colhida a uva em fevereiro de 2024, em março a parcela SO foi sobressemeada com espécies de plantas de cobertura: nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum Moench*), ervilha forrageira (*Pisum sativum*) e milheto (*Pennisetum glaucum*). Em seguida, a vegetação existente nas duas parcelas foi roçada, cobrindo as sementes na parcela SO. Em julho de 2024, a cobertura vegetal das parcelas foi amostrada para avaliar os teores de nutrientes, posicionando-se um aro metálico de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²) no centro das seis entrelinhas de cada parcela, aleatoriamente ao longo do comprimento das linhas (30 m), cortando-se a fitomassa (biomassa e necromassa) rente ao solo.

O material foi ensacado e levado ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da UNICENTRO, para enxague em água destilada e secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, por sete dias. As análises determinaram os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), conforme descrito por EMBRAPA (2009). Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva, calculando-se as médias (seis repetições parcela^{-1}) para cada nutriente, as quais foram comparadas entre os sistemas com base nos intervalos de confiança, a 95% de confiabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos teores de nutrientes das fitomassas de entrelinha revelou equivalência estatística dos para N, P, K, Ca, Mg e S (Figura 1). Os teores de N, no entanto, foram elevados, fato que pode ser, ao menos parcialmente, explicada pela presença em SC de leguminosas como trevo-vermelho e trevo-branco, que promovem a fixação biológica de N (FBN), reduzindo a relação C/N e acelerando a decomposição da palhada, liberando nutrientes mais rapidamente para a cultura subsequente (Hungria *et al*., 2010). Em SO, a presença de outra leguminosa provida de FBN, a ervilha forrageira, também explica os elevados teores de N na fitomassa avaliada, além de que, o nabo-forrageiro presente no mix, como toda crucífera, apresenta boa reciclagem de N do solo, como comprova a baixa relação C/N de seus resíduos.

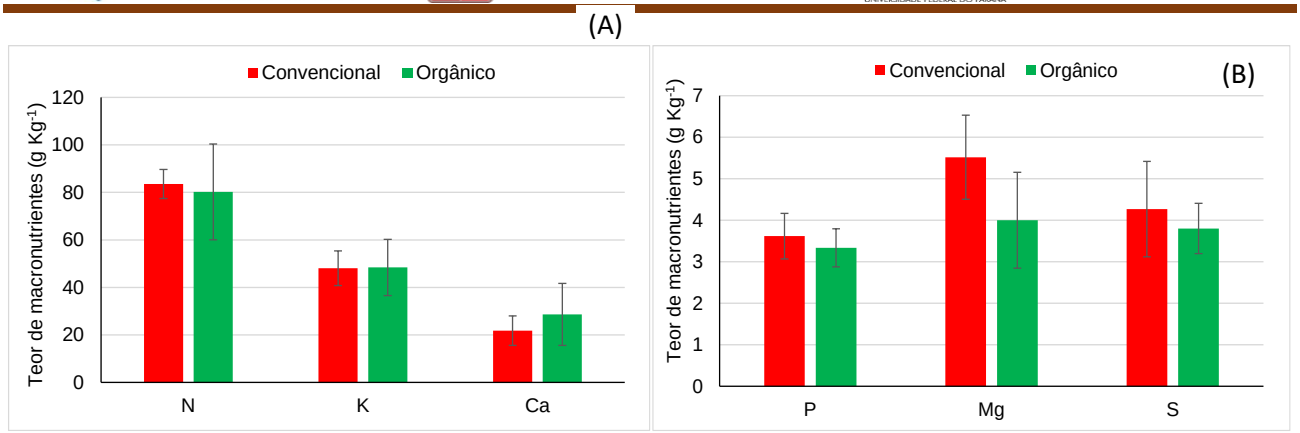


Figura 1: Os teores de macronutrientes nitrogênio (N), potássio (K) e cálcio (Ca) (A), fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) (B) na cobertura vegetal das entrelinhas do vinhedo, sob sistemas convencional (capim) e orgânico (mix de plantas de cobertura). Nota: barras de erro representam o intervalo de confiança médias, para 95% de confiabilidade.

Quanto aos teores de P, plantas como nabo-forrageiro e trigo-mourisco, presentes no mix da parcela SO, são conhecidas por sua capacidade de reciclar nutrientes, inclusive de camadas mais profundas do solo, podendo favorecer o teor de P na fitomassa acumulada (Silva *et al*., 2018), que não se diferenciou do teor observado na parcela SC, onde os capins rústicos apresentam boa adaptação à absorção de P, mesmo sob baixos teores no solo.

Os teores de K ficaram numericamente iguais entre os sistemas, o que pode ser atribuído à presença de gramíneas em ambos os sistemas, sendo essas plantas consideradas eficientes em absorver e reciclar esse nutriente. Assim, a escolha por plantas de cobertura para as entrelinhas do vinhedo, nessa primeira safra avaliada, não diferiu das plantas voluntárias, rústicas e adaptadas às condições edafoclimáticas locais, obtendo-se teores similares de nutrientes. Porém, a produção de biomassa das plantas de cobertura na parcela SO foi maior que a de plantas voluntárias na parcela SC, o que resulta em maior extração e reciclagem de nutrientes para a parcela SO. O estudo necessita ser conduzido a longo prazo, para avaliar melhor as estratégias de manejo quanto ao balanço de nutrientes no sistema solo-planta, com possíveis resultados distintos para as videiras no futuro.

CONCLUSÕES

Nos cultivos convencional e orgânico, utilizando plantas voluntárias e plantas de cobertura nas entrelinhas, respectivamente, as concentrações de macronutrientes foram similares nas fitomassas acumuladas. Isso sugere que, sob as condições analisadas, o manejo orgânico, mesmo sem aplicação de nutrientes na forma de fontes sintéticas solúveis, prontamente disponíveis, conseguiu disponibilizar nutrientes em quantidades adequadas para as plantas. É necessário continuar o estudo ao longo dos anos, para confirmar os efeitos sobre o solo e as plantas, tanto as de cobertura nas entrelinhas quanto as de interesse comercial nas linhas (videira), visando recomendações mais sustentáveis e/ou econômicas para os produtores de uva da região.

AGRADECIMENTOS

À UNICENTRO e ao campus CEDETEG pelas condições de estudo e aprendizagem, aos membros do grupo de Fertilidade e Nutrição de Plantas da UNICENTRO, pelo apoio. À CAPES, Fund. AGRISUS, e CNPq pelo fomento e bolsas, à Ferticel pela doação do esterco de peru, a Sementes Renascer, pela doação das sementes de plantas de cobertura, e à Vinícola Horst de Guarapuava-PR, pela parceria.

BIBLIOGRAFIA

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. dos; BOGNOLA, I.A.; CURCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JÚNIOR, W. de; CHAGAS, C. da S.; ÁGLIO, L.D.; SOUZA, J.S. de. Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada. Colombo: Embrapa Florestas, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 2008. 74p.

CAMPOS, L. F. C. Plantas de cobertura do solo e épocas de poda na produção e qualidade da videira 'Niágara Rosada' em sistema orgânico. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Goiás, 2013.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; DE OLIVEIRA, D.; GALDINO, J.; BORROZINO, E.; GIACOMINI, C. C.; SONOMURA, M. G. Y.; PUGSLEY, L. Cartas climáticas do Paraná. *IAPAR*, Londrina, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos*, Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA. Fixação biológica de nitrogênio e sua importância para a produtividade agrícola. *Embrapa Soja*, Londrina, PR, 2010.

EMBRAPA. Plantas de cobertura e seus efeitos na fertilidade do solo e produtividade agrícola. *Embrapa Solos*, Circular Técnica, 2015.

FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; PEREIRA, J. R. Avaliação nutricional da videira no Submédio São Francisco. *Embrapa Semiárido*, 2005.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. Fixação biológica de nitrogênio e sua importância para a produtividade agrícola. *Embrapa Soja*, Londrina, PR, 2010.

IBGE-EMBRAPA. Mapa de Solos do Brasil. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE*, Rio de Janeiro, 2001. Escala 1:5.000.000.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. *Instituto Agronômico do Paraná*, Londrina, 1992. (Circular, 76).

SILVA, C. A.; FERREIRA, P. A.; BORGES, B. M. C. Plantas de cobertura e sua influência na disponibilidade de nutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.53, p.412-420, 2018.

SILVA, D. J.; MOURA, M. F. Nutrição e Adubação da Videira em Sistema de Produção Integrada. *Embrapa Uva e Vinho*, 2012.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVEIA VERSUS PLANTAS VOLUNTÁRIAS NA ENTRELINHA DO VINHEDO: TEORES DE NUTRIENTES NA COBERTURA VEGETAL

Guilherme Sanvesso de Paula[1*], Sara Ferreira Orides[1], Vinícius Zanlorenzi[1], Elizandra de Oliveira Franco[2], Marcelo Marques Lopes Müller[3]

[1]Graduandos em Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), Gsanvessodepaula@gmail.com; [2]Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da UNICENTRO; [3]Professor Dr., Depto. Agronomia e PPGA da UNICENTRO.

RESUMO

Nesse estudo, avaliaram-se os teores de nutrientes na cobertura vegetal das entrelinhas de um vinhedo manejado em sistema convencional (SC) e sistema orgânico (SO). O vinhedo foi implantado em 2021, em Guarapuava-PR. Em 2023, foi selecionado um talhão, dividindo-o em duas parcelas de 1.000 m² cada. Uma foi mantida sob SC, com plantas espontâneas nas entrelinhas, e a outra foi convertida em SO, com plantas de cobertura nas entrelinhas. Nesse trabalho, avaliaram-se as coberturas de capim espontâneo de SC e de aveia preta de SO, referente ao crescimento entre agosto e outubro de 2024. Amostras das coberturas foram coletadas no campo (seis repetições parcela^{-1}) e analisadas quimicamente. SO, embora tenha mostrado teores ligeiramente mais baixos, destacou-se pela boa eficiência na absorção de potássio (31,53 g/kg), fósforo (4,12 g/kg) e enxofre (2,28 g/kg), evidenciando o potencial das práticas orgânicas em manter a saúde do solo e a sustentabilidade do cultivo.

PALAVRAS-CHAVE: sangiovese; braquiária; *Avena sativa*; reciclagem.

INTRODUÇÃO

A videira (*Vitis* spp.) é uma das culturas agrícolas mais antigas do mundo, de grande importância econômica, especialmente pela produção de vinhos. Em 2020, a produção mundial de uva alcançou 74 milhões de toneladas, com destaque para países como China, Itália, Estados Unidos e França (FAOSTAT, 2021). No Brasil, a produção em 2022 foi de cerca de 1,5 milhão de toneladas, com os estados do Rio Grande do Sul, Pernambuco, São Paulo, Bahia e Paraná liderando a produção (IBGE, 2022).

A viticultura pode ser realizada sob sistemas convencional (SC) ou orgânico (SO), sendo o primeiro consolidado a partir da Revolução Verde, e caracterizado pelo uso intensivo de fertilizantes sintéticos e defensivos químicos. Por outro lado, o sistema orgânico busca maior equilíbrio ambiental, eliminando o uso de insumos químicos sintéticos e priorizando a saúde do solo e do ecossistema agrícola (Arias *et al*., 2008). Nos últimos anos, a crescente conscientização sobre sustentabilidade e a busca por alimentos saudáveis têm impulsionado a viticultura orgânica, especialmente na Europa, onde já é representativa na produção total.

Nesse contexto, alternativas como fertilizantes orgânicos, biofertilizantes, pós de rocha e plantas de cobertura como adubos verdes têm se mostrado eficazes, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo e redução de impactos ambientais (Andrade, 2007). A videira, sendo uma cultura perene, se adapta bem ao cultivo orgânico, o que reforça a necessidade de pesquisas que avaliem não apenas sua produtividade, mas também a qualidade da produção ao longo dos anos.

No Centro-Sul do Paraná, a viticultura ainda é incipiente, então a pesquisa sobre viticultura orgânica é crucial, podendo fornecer aos agricultores alternativas sustentáveis e economicamente viáveis já no início da expansão da atividade, contribuindo para o fortalecimento de uma alternativa econômica para o campo, com viés sustentável, ambientalmente correta, saudável para produtores e consumidores. O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de nutrientes na cobertura vegetal das entrelinhas do vinhedo, manejado sob sistemas de cultivo orgânico e convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um vinhedo comercial localizado em Guarapuava-PR (25°27'26,17"S; 51°31'5,67"O; 1.000 m). O clima da região é do tipo Cfb (Köppen-Geiger), caracterizado por verões amenos, temperatura média no mês mais quente inferior a 22 °C, sem estação seca definida e com geadas no inverno (Caviglione *et al*., 2000). O solo da área foi classificado como Neossolo Regolítico distrófico (EMBRAPA, 2018).

Selecionou-se um talhão implantado em 2021, de cultivar 'Sangiovese' sobre porta-enxerto "Paulsen 1103" (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*), com sistema de espaldeira e espaçamento de 2,5 m entrelinhas e 1,0 m entre plantas (4.000 plantas ha^{-1}). Em junho de 2023, o talhão foi dividido em duas parcelas (1.000 m² cada) para implantar os sistemas de produção convencional (SC) e orgânico (SO). Cada parcela foi composta de sete linhas de plantio (30 m), com três linhas de bordadura entre parcelas e nas extremidades externas.

Em SC utilizaram-se inseticidas, fungicidas e herbicidas, fertilizantes sintéticos (NPK, ureia) e roçada nas entrelinhas para manejo da cobertura espontânea, de capim Sempre Verde (*Axonopus compressus*), capim-vassoura (*Paspalum paniculatum*), braquiaria (*Brachiaria brizantha*) e cevadilha (*Bromos cartaticus*). Em SO, instalou-se cobertura plástica nas linhas e adotou-se a diretriz brasileira de produção orgânica (IN 46/ 2011), sem agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, com caldas bordalesa e sulfocálcica, óleo de Neem, pós de fonólito e fosfato natural, e esterco de peru. A cobertura das entrelinhas, até a colheita da safra 2023/2024, permaneceu quase a mesma que no SC, com roçada, mas também houve arranquio de touceiras dos capins.

Colhida a uva em março de 2024, a parcela SO foi cultivada com mix de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum Moench*), ervilha forrageira (*Pisum sativum*) e milheto (*Pennisetum glaucum*), e a parcela SC foi mantida com o capim voluntário. Em agosto, sobressemeou-se aveia preta (*Avena strigosa*) a lanço na parcela SO, e ambas as parcelas foram roçadas. Em outubro de 2024, a aveia (SO) e o capim (SC) foram amostrada nas respectivas parcelas, utilizando-se aro metálico de 0,25 m² no centro das seis entrelinhas de cada parcela, aleatoriamente ao longo dos 30 m das linhas. A fitomassa (biomassa e necromassa) foi cortada rente ao solo e ensacado.

No Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da UNICENTRO, as amostras foram enxaguadas em água destilada, secas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, por sete dias, e analisadas quanto aos teores de macro e micronutrientes (EMBRAPA, 2009). Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva, calculando-se as médias (seis repetições $parcela^{-1}$) para cada nutriente, as quais foram comparadas entre os sistemas com base nos intervalos de confiança, a 95% de confiabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de macronutrientes foram similares nos dois sistemas (Figura 1), sem diferença significativa entre SC e SO, mas houve maior variabilidade de teores (maior intervalo de confiança) para nitrogênio (N) e potássio (K) na parcela SC. Entre os macronutrientes, os teores foram mais elevados para N (23,11 e 24,88 g kg^{-1}) e K (25,90 e 31,53 g kg^{-1}), seguidos de cálcio (Ca) (6,67 e 5,76 g kg^{-1}), fósforo (P) (3,31 e 4,12 g kg^{-1}), magnésio (Mg) (2,75 - 2,23 g kg^{-1}) e enxofre (2,20 e 2,28 g kg^{-1}), e isso ocorreu em ambos os sistemas.

Essa ausência de diferença pode indicar que os capins (SC) e a aveia (SO) apresentaram fitomassa parecida em termos de constituição mineral, no que se refere a macronutrientes. Entretanto, a parcela SO não recebeu fertilização com NPK nem com ureia como a parcela SC, sendo que esses fertilizantes sintéticos solúveis são prontamente disponíveis, demonstrando que as fontes naturais utilizadas na parcela SO, sejam elas minerais como o fonólito (pó de rocha potássica - fonte de K) e o fosfato natural (pó de rocha fosfática - fonte de P), o esterco de peru (fonte multinutrientes) e as plantas de cobertura da safra antecedente garantiram a condições de fertilidade do solo similares, provendo boa disponibilidade de nutrientes como observado para a parcela SC.

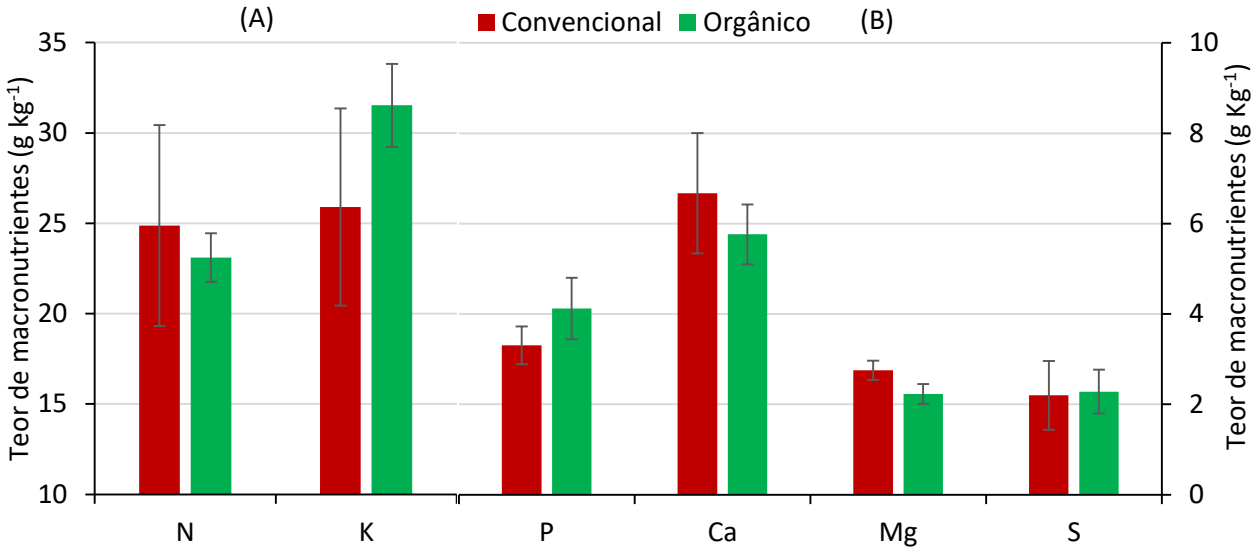


Figura 1. Os teores de macronutrientes nitrogênio (N) e cálcio (Ca) (A)**,** fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S) (B) na cobertura vegetal das entrelinhas do vinhedo, sob sistemas convencional (capim) e orgânico (aveia preta). Nota: barras de erro representam o intervalo de confiança médias, para 95% de confiabilidade.

Sob manejo orgânico, a disponibilidade de nutrientes, normalmente, ocorre de forma diferente em comparação ao manejo convencional, sendo mais lenta e gradual no orgânico. Nesse caso, a ausência de diferenças entre os sistemas, no que se refere aos macronutrientes pode indicar maior eficiência da aveia preta na utilização dos nutrientes presentes no solo sob esse sistema.

Sobre os teores de micronutrientes na cobertura vegetal das entrelinhas (Figura 2), houve diferença entre os sistemas quanto aos teores de ferro (Fe) e manganês (Mn) e cobre (Cu), que foram mais elevados em SC do que em SO, mas não houve diferenças quanto aos teores de zinco (Zn) e boro (B).

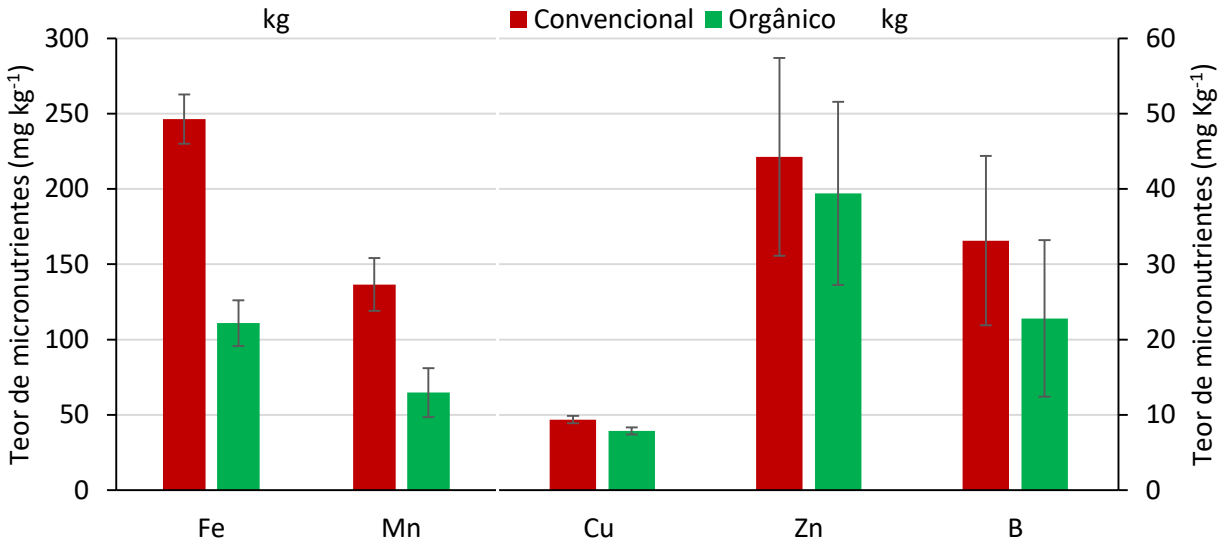


Figura 2. Teores de micronutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B) na cobertura vegetal das entrelinhas do vinhedo, sob sistemas convencional (capim) e orgânico (aveia preta). Nota: barras de erro representam o intervalo de confiança médias, para 95% de confiabilidade.

Maiores teores de Fe, Mn e Cu na cobertura vegetal em SC pode refletir especificideade de absorção das espécies, que no caso são capins, normalmente muito rústicos e adaptados a solos ácidos, situação em que a disponibilidade e absorção de metais como Fe, Mn e Cu é maior. Para Zn e B, a variabilidade dos teores foi maior em comparação aos demais micronutrientes avaliados, sendo numericamente também mais elevados em SC em comparação a SO. Outra explicação para o fato seria a possibilidade desses metais terem sido adicionados por meio de alguma fonte sintética utilizada na composição do NPK utilizado para adubação convencional na parcela SC em 2023 e 2024, mesmo que não declarada no fertilizante, por não atingir a garantia mínima (teor, %) prevista em lei para registro e venda como fonte de tais nutrientes.

CONCLUSÕES

As diferenças observadas nos teores de nutrientes das coberturas vegetais, de plantas espontâneas (capins) sob sistema convencional e plantas de cobertura (adubos verdes) sob sistema orgânico, se concentraram nos micronutrientes. O sistema convencional, com o uso de fertilizantes sintéticos, que podem carregar teores residuais de micronutrientes e, inclusive, causar acidificação do solo e, com isso melhorar a disponibilidade dos metais (Fe, Mn, Cu e Zn), gerou maiores teores de micronutrientes metálicos na cobertura vegetal de entrelinha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Marcelo Marques Lopes Müller, pelos ensinamentos, à UNICENTRO e ao campus CEDETEG pelas condições de aprendizagem, aos membros do grupo de Fertilidade e Nutrição de Plantas da UNICENTRO, pelo apoio. À CAPES, Fund. AGRISUS, e CNPq pelo fomento e bolsas, à Ferticel pela doação do esterco de peru, a Sementes Renascer, pela doação das sementes, e Vinícola Horst, pela parceria**.**

BIBLIOGRAFIA

FAOSTAT. **Crops and livestock products.** Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize. Acesso em: 25 fev. 2025.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. **Prognóstico da Produção Agrícola - Culturas Permanentes**. 2023. Disponível em: < https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>.

ARIAS-ESTÉVEZ, M.; LÓPEZ-PERIAGO, E.; MARTÍNEZ-CARBALLO, E.; SIMALGÁNDARA, J.; MEJUTO, J.-C.; GARCÍA-RÍO, L. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 123, n. 4, p. 247-260, 2008

ANDRADE, I. P. **Biofertilizantes de rochas fosfatadas e potássicas com enxofre inoculado com Acidithioacillus na adubação da uva (Vitis vinifera L.) em planossolo do Vale do São Francisco**. 2007. 96 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; DE OLIVEIRA, D.; GALDINO, J.; BORROZINO, E.; GIACOMINI, C. C.; SONOMURA, M. G. Y.; PUGSLEY, L. **Cartas climáticas do Paraná.** IAPAR, Londrina, 2000.

EMBRAPA. Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes. 1. Ed. Brasília: EMBRAPA,. Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. Ed Brasilia, DF: Embrapa, 2018. 356p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUTIVIDADE DE VIDEIRA CV. 'SANGIOVESE' SOB SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL

Elizandra de Oliveira Franco[1*], Larissa Marques Wirgues[1], Jéssica Vanessa Wosco Correa[1], Renato Vasconcelos Botelho[2], Marcelo Marques Lopes Müller[2]

[1] Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), [2]Professor Dr., Depto. Agronomia e PPGA – UNICENTRO. *Elizandra_oliveira27@hotmail.com

RESUMO

O objetivo foi avaliar sistemas de produção orgânico e convencional sobre a nutrição mineral e produtividade das videiras ´Sangiovese`. O experimento foi conduzido em vinhedo comercial em Guarapuava-PR. A área foi dividida em duas macroparcelas, de aproximadamente 1.000 m² cada, para a implantação dos sistemas de produção convencional e orgânico. No ínicio do ciclo produtivo 2023-2024 realizou-se uma análise de solo, e no estádio de pré-florescimento das safras 2023 e 2024, foram coletadas folhas diagnósticas para análise quanto aos teores de macronutrientes. No momento da colheita, realizou-se a pesagem de todos os cachos e estimou-se a produtividade. Na safra de 2024, observou-se um aumento na produtividade de ambos os sistemas, com o sistema convencional alcançando 5.692,68 kg/ha e o sistema orgânico 5.268,98 kg/ha. Entre os sistemas convencional e orgânico nas safras de 2023 e 2024, não houve diferença significativa, porém o sistema orgânico se mostrou uma alternativa viável, destacando-se por seu menor impacto ambiental e ênfase na sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: solo; sustentabilidade, *Vitis vinifera* L.; macronutrientes.

INTRODUÇÃO

Práticas agrícolas sustentáveis, como a adoção de sistemas orgânicos, são alternativas para mitigar problemas relativos ao uso intensivo do solo, mantendo a produtividade e a qualidade do solo a longo prazo, por favorecerem a reciclagem de nutrientes e a manutenção da biodiversidade. O sistema orgânico depende menos de insumos químicos, prioriza rotação de culturas e adubação verde, favorece a estrutura e biodiversidade do solo, embora possa gerar produtividades menores em comparação ao sistema convencional (Franca *et al*., 2024), que se baseia no uso de fertilizantes sintéticos e controle intensivo de pragas, mas pode comprometer a saúde do solo e impactar o ambiente a longo prazo (Guerra *et al*., 2022).

Na vitivinicultura, o sistema de produção influencia a qualidade do solo, a nutrição mineral e produtividade das videiras. A cultivar *´Sangiovese`*, amplamente utilizada na produção de vinhos finos, é sensível a variações de fertilidade do solo e de disponibilidade de nutrientes, o que pode influenciar a produtividade e a qualidade dos frutos (Rufato *et al*., 2021), podendo afetar a qualidade do vinho.

Este estudo tem como objetivo avaliar a nutrição mineral e a produtividade da videira *´Sangiovese`* em fase inicial do vinhedo submetido aos sistemas de produção orgânico e convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está sendo conduzido em vinhedo comercial localizado em Guarapuava-PR (25°27’26,17”S, 51°31’5,67’’O, 1.000 m), onde o clima é do tipo Cfb (Köppen-Geiger), caracterizado por verões amenos (mesotérmico), com temperatura média no mês mais quente inferior a 22 °C, sem estação seca definida e com geadas no inverno (Caviglione *et al*., 2000). O solo foi classificado como Neossolo Regolítico distrófico argiloso, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2018).

Selecionou-se um talhão da cultivar '*Sangiovese'* (*Vitis vinifera* L.) sobre porta-enxerto 'Paulsen 1103' (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*), implantado em 2021 com espaçamento de 2,5 m entrelinhas e 1,0 m entre as plantas (4.000 plantas ha^{-1}) no sistema de espaldeira. Em junho de 2023, a área foi dividida em duas macroparcelas (±1.000 m² cada), com sete linhas de plantio $parcela^{-1}$ e três linhas de bordadura entre as parcelas e nas suas extremidades. No início e final das linhas, foram mantidas cinco plantas de bordadura, restando 30 plantas úteis $linha^{-1}$. Uma parcela permaneceu em sistema convencional (SC) e implantou-se o sistema orgânico (SO) na outra. O solo foi amostrado em junho de 2023, em quatro pontos amostrais ao longo de cada uma das seis entrelinhas (4 pontos x 6 entrelinhas = 24 pontos $parcela^{-1}$) com estratificação de coleta nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, formando 6 amostras compostas $parcela^{-1}$ em cada camada (12 amostras compostas $parcela^{-1}$) para caracterizar a fertilidade inicial do solo (Tabela 1). As análises foram realizadas conforme metodologia oficial para o Estado do Paraná (Pavan *et al*., 1992).

Tabela 1. Atributos químicos do Neossolo Regolítico nas parcelas do vinhedo, delimitadas para implantar os sistemas de produção convencional e orgânico. Guarapuava-PR. 2023.

		Sistema Convencional (SC)		Sistema Orgânico (SO)	
Atributo do solo	Unidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm	0 – 20 cm	20 – 40 cm
Matéria orgânica[1]	g/dm^{-3}	32,54	22,16	32,49	23,96
pH em $CaCl_2$	-	6,51	5,84	6,63	5,84
Al	$cmol_c\ dm^{-3}$	0,15	3,14	0,10	0,07
H+Al	$cmol_c\ dm^{-3}$	4,83	9,25	2,42	3,99
P	$mg\ dm^{-3}$	15,33	2,54	15,82	5,70
K^+	$cmol_c\ dm^{-3}$	1,20	0,54	1,31	1,04
Ca^{2+}	$cmol_c\ dm^{-3}$	15,17	8,94	16,33	12,25
Mg^{2+}	$cmol_c\ dm^{-3}$	4,02	2,56	3,97	3,30
SB	$cmol_c\ dm^{-3}$	20,40	12,08	21,61	16,59
$CTC_{pH7,0}$	$cmol_c\ dm^{-3}$	25,23	21,33	24,03	20,57
V	%	81	56,59	89,87	80,24
S	$mg\ dm^{-3}$	0,31	20,58	0,47	25,42

Nota: Fósforo (P) extraído por Mehlich-1.

Na parcela sob SC, utilizaram-se fertilizantes sintéticos (NPK, ureia), inseticidas, fungicidas, herbicidas. Na parcela sob SO, instalou-se cobertura plástica nas linhas de plantio, e adotaram-se normas brasileiras de produção orgânica (IN 46/2011), sem agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, com uso de óleos essenciais (Neem), caldas (Bordalesa, sulfocálcica), pó de rocha (fosfato natural, fonólito) e esterco (de peru).

No início do florescimento nas safras de 2023/2024 e 2024/2025, coletou-se a 4º folha anterior ao cacho no ramo, completamente expandida, em 10 pontos de cada linha de plantio, formando amostras compostas de cada linha. Os teores de nitrogênio (N), após digestão sulfúrica, e de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e enxofre (S), após digestão nitroperclórica, foram determinados conforme Embrapa (2009). Todas as análises foram feitas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da UNICENTRO.

Em fevereiro de 2024 e 2025, foi realizada a colheita no ponto ótimo de maturação (21-22° Brix). Os cachos de uva foram colhidos por linha de plantio, e pesados juntos para estimar a produtividade $linha^{-1}$.

Com base na área relativa a cada linha, estimou-se a produtividade em kg ha^{-1}. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, calculando-se médias para os atributos em cada sistema (parcela). As médias dos sistemas foram comparadas por meio do intervalo de confiança, calculado para 95% de confiabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor foliar de N ficou acima da faixa de suficiência (16 a 24 g kg^{-1})(Pauletti e Motta, 2019) nas safras de 2023/2024 e 2024/2025 (Figura 1A,C) em ambos os sistemas de produção, enquanto os teores de P, K e Mg (Figura 1B e D) nos dois sistemas e safras, e de Ca na safra 2024/2025 (Figura 1C) mantiveram-se dentro da faixa de suficiência (P: 1,2 a 4 g kg^{-1}; K: 8 a 16 g kg^{-1}; Mg: 2 a 6 g kg^{-1}; Ca: 16 a 24 g kg^{-1}), sem diferenças signficativas entre os sistemas. Por outro lado, o Ca (Figura 1A) na safra 2023/2024 e S em ambas as safras ficaram abaixo da faixa de suficiência (S: 3,3 a 3,8 g kg^{-1}). A semelhança de *status* nutricional pode se dever ao fato de o estudo estar em fase inicial. Como o nível de produtividade utilizado nos cálculos de calagem e adubação para o preparo inicial da área foi alto, e o solo apresentou alta fertilidade nas parcelas antes do estudo (Tabela 1), as mudas foram implantadas na mesma situação em 2021 e formaram reservas nutricionais em condições similares. E partindo de elevada fertilidade do solo nos dois sistemas em 2021, os fertilizantes sintéticos da parcela SC e as fontes naturais da parcela SO a partir de 2023 tiveram pouco tempo de ação e modificação da fertilidade do solo, resultando em diferenças pequenas de status nutricional nas safras de 2023/2024 e 2024/2025.

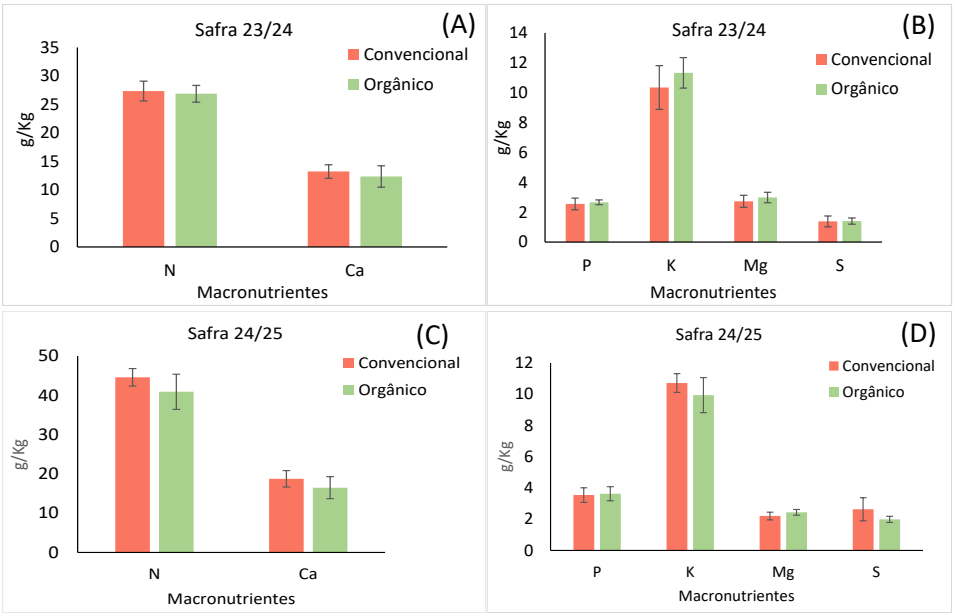


Figura 1: Teores de nitrogênio (N), cálcio (Ca) (A e B), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S) (C e D) nas folhas de videiras cultivar 'Sangiovese' no estádio de pré-florescimento nas safras 2023/2024 e 2024/2025, sob sistemas de produção convencional e orgânico. Nota: barras de erro representam o intervalo de confiança das médias, para 95% de confiabilidade.

Na safra de 2023/2024, a parcela SC apresentou produtividade média de 3.664,83 kg/ha, enquanto a produtividade em SO foi de 3.544,09 kg/ha (Figura 2), números estatisticamente equivalentes, com apenas 120,74 kg/ha de diferença. SO produziu 3,29 % menos que SC, sem atribuição aos sistemas de produção. Na safra de 2024/2025, também não houve diferença de produtividade entre sistemas. SC alcançou 5.692,68 kg/ha e SO chegou a 5.268,98 kg/ha, com apenas 423,70 kg/ha de diferença também não significativa. Porém, a desvantagem numérica foi novamente para SO, 5,58 % menor que em SC. Tal diferença em favor de SC em

duas safras seguidas, e com ampliação na segunda safra, pode ser atribuída à pronta disponibilidade de nutrientes dos fertilizantes sintéticos, e maior facilidade de controle de pragas, doenças e plantas voluntárias nas entrelinhas, e plantas voluntárias podem ter competido mais por água e nutrientes na parcela SO, prejudicando o melhor desempenho das videiras. Quanto a pragas e doenças, o manejo em SO conseguiu controle ser equivalente ou melhor que o manejo SC.

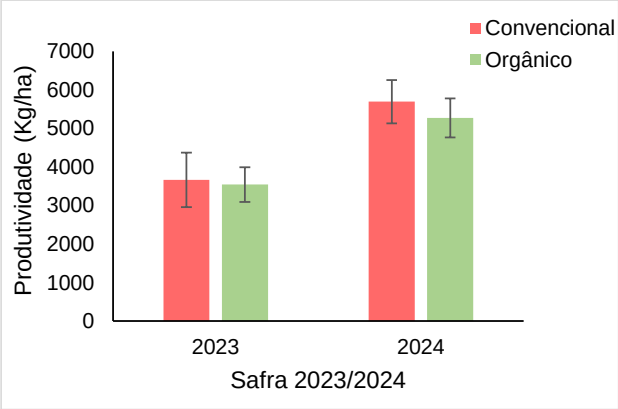


Figura 2. Produtividade (kg ha^{-1}) inicial de videiras cultivar 'Sangiovese' nas safras de 2023/2024 e 2024/2025, sob sistemas de produção convencional e orgânico. *Barras de erro representam o intervalo de confiança das médias, para 95% de confiabilidade.

Houve aumento de produtividade entre as safras, de 2.028 kg/ha (+55 %) para SC e 1.725 kg/ha (+49 %) para SO. Como houve boa disponibilidade hídrica, e sem intercorrências graves de pragas, doenças e plantas daninhas, esse aumento se deve ao avanço do potencial produtivo das videiras avançando ao estádio de produção plena. E apesar de poder produzir mais, SC ainda não apresentou rendimento significativamente superior a SO, mas seu uso a longo prazo pode produzir impactos ambientais, como degradação do solo por diminuição da biodiversidade, e poluição da água devido ao uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, efeitos que podem comprometer a sustentabilidade do sistema no futuro (Guerra *et al*., 2022). Já o manejo orgânico apresentou produtividade similar à do manejo convencional, com a vantagem de melhorar a estrutura e biodiversidade do solo a longo prazo e reduzir o risco ambiental. O uso de fertilizantes naturais e o manejo ecológico melhoram a saúde do solo, mitigando impactos das mudanças climáticas, por promover sequestro de carbono (Longbottom e Petrie, 2015).

CONCLUSÕES

A ausência de diferenças nutricionais e produtivas das videiras entre sistemas convencional e orgânico, em duas safras iniciais, demonstrou que o sistema orgânico é uma alternativa viável na região de estudo, com vantagens de sustentabilidade. A escolha entre os sistemas depende dos objetivos do produtor.

AGRADECIMENTOS

Unicentro, CAPES, CNPq, Fund. AGRISUS (fomento), Ferticel, Sementes Renascer e Vinícola Horst (parceria).

BIBLIOGRAFIA

CAVIGLIONE, J. H., KIIHL, L. R. B., CARAMORI, P. H., DE OLIVEIRA, D., GALDINO, J., BORROZINO, E., GIACOMINI, C. C., SONOMURA, M. G. Y., & PUGSLEY, L. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina – PR: IAPAR, 2000.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 1. Ed. Brasília: EMBRAPA. Informação Tecnológica, 2009. 627p.

FRANCA, C. F.; DORING, J.; KOCH, M.; KAUER, R.; STOLL, M.; WOHLFAHRT, Y.; WAGNER, M. Comparative life cycle assessment of integrated and organic viticulture based on a long-term field trial in Germany. **Sustainable Production and Consumption**, v. 52, p. 487–497, 2024.

GUERRA, J.G., CABELLO, F., FERNANDEZ-QUINTANILLA, C., PEÑA, J. M., & DORADO, J. How weed management influence plant community composition, taxonomic diversity and crop yield: a long-term study in a Mediterranean vineyard. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 326, p. 107816, 2022.

LONGBOTTOM; M. L.; PETRIE, P. R. Role of vineyard practices in generating and mitigating greenhouse gas emissions. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 21, p. 522–536, 2015.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. 2 ed. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Estadual do Paraná. 2019. 289 p.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 1992. 40p. (Circular, 76).

RUFATO, L.; MARCON FILHO, J. L.; BRIGHENTI, A. F.; BOGO, A.; KRETZSCHMAR, A. A. **A cultura da videira: vitivinicultura de altitude**. Florianópolis: UDESC, 2021. (Série Fruticultura). 577 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATRIBUTOS DO SOLO EM POMAR DE MACIEIRA SOB SISTEMA ORGÂNICO DE PRODUÇÃO NO SUL DO BRASIL

Joice Mari Assmann[1]*, Clandio Medeiros da Silva[1], Josiane Burkner dos Santos[1], Janaina Dartora[1], Norma Kiyota[1]

[1]Pesquisador (a), Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná IAPAR-EMATER - (IDR-Paraná).

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a evolução das características químicas do solo, em um pomar de macieira conduzido no sistema orgânico na Região Sudoeste do Paraná. O experimento está localizado no Polo de Pesquisa e Inovação do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR – EMATER (IDR-Paraná), no município de Pato Branco - PR. O cultivo de macieiras em sistema orgânico alterou significativamente os atributos químicos do solo: P, carbono orgânico total (COT), pH, H+Al, Ca, Mg, K, SB, capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação de bases (V%), nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. O COT apresentou incremento de 186% e 133% nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. O manejo de pomares de maçã em sistema orgânico favorece o aumento dos nutrientes e correção da acidez do solo, além de contribuir para o aumento nos teores de COT trazendo ganhos significativos para qualidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo; adubação orgânica

INTRODUÇÃO

A produção de maçãs (*Malus domestica* Borkh) representa significativa importância para a economia nacional, com uma produção de 1,3 milhões de toneladas no ciclo de 2023/24, sendo que, 98% dessa produção se concentra na região sul do país (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2025; IBGE, 2025). A predominância desta produção encontra-se no sistema convencional, com sua eficácia atrelada à dependência de insumos químicos que apresenta potencial de provocar significativos impactos ambientais.

O sistema orgânico de produção emerge como uma alternativa viável, uma vez que demanda uma quantidade reduzida de insumos externos, eliminando a utilização de agrotóxicos e adubos solúveis (HOLB *et al*., 2012). O suprimento de nutrientes neste sistema é realizado com a ciclagem natural dos nutrientes através da manutenção e uso de plantas de cobertura, aplicação de compostagem de estercos animais e uso de microrganismos eficientes (E.M) (SILVA *et al*. 2022). A combinação destas formas de adubação apresenta várias vantagens, dentre elas a ação gradual e de longa duração no solo, liberando os nutrientes de forma lenta e constante, o que reduz o risco de lixiviação e perdas para o ambiente. Além disso, esses materiais orgânicos contribuem para o aumento da matéria orgânica do solo e melhorando sua fertilidade a longo prazo (CARNEIRO & VIEIRA, 2020).

Neste contexto há divergências nos sistemas de produção orgânico versus convencional, pois as intensidades das práticas de manejo implementadas podem influenciar a qualidade do solo, bem como a nutrição e a fisiologia das culturas (PECK *et al*., 2011; ROUSSOS & GASPARATOS, 2009). Na agricultura orgânica, a fertilidade do solo desempenha um papel fundamental no crescimento das plantas, sendo impulsionada pela otimização da atividade biológica do solo e pela ampliação da capacidade de retenção de nutrientes (SHIVAKUMAR *et al*., 2012), favorecendo a ciclagem de nutrientes e promovendo a melhoria contínua da estrutura do solo (DE AZEREDO, 2021; PIMENTEL *et al*., 2011). Amarante *et al.*, (2015) verificaram que o solo cultivado em sistema orgânico apresentou melhor qualidade física, química e biológicas na camada de 0-20 cm, quando comparado ao sistema convencional.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a evolução das características químicas de solo, em um pomar de macieira conduzido no sistema orgânico de produção na Região Sudoeste do Região Sul do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O preparo da área anterior à instalação do experimento foi realizado com aração e gradagem. Em seguida, foi feito o plantio de plantas de cobertura durante as safras de inverno (2018 e 2019), utilizando um mix composto por nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), ervilha forrageira (*Pisum arvense* L.), aveia branca (*Avena sativa* L.) e ervilhaca peluda (*Vicia sativa* L.). Para o verão, foram plantadas mucuna preta (*Mucuna pruriens* L.) e mucuna cinza (*Mucuna cinerium*), ambas manejadas com rolo faca após o florescimento.

O experimento com o plantio das macieiras cultivares IPR Eva Rubi e IPR Julieta, foi realizado em setembro de 2019 no Polo de Pesquisa e Inovação do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR – EMATER (IDR-Paraná), no município de Pato Branco – PR. A área experimental está localizada na região fisiográfica do Terceiro Planalto Paranaense, entre as coordenadas de 25°07 S de latitude e 52°41 W de longitude, com altitude média de 700 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa em transição para Cfb. O solo da área é classificado como LATOSSOLO Vermelho distroférrico, relevo ondulado e textura argilosa, cujo teor de argila na camada de 0 a 20 cm é de 620 g kg^{-1} (ou 62%).

As macieiras estão dispostas em sistema de condução tipo muro frutal, com espaçamento de 4 metros entre linhas e 1 metro entre plantas na linha. O Pomar experimental está constituído com 174 plantas, 114 plantas de 'Eva Rubi' e 60 de 'Julieta', divididas em seis linhas. Ambas as cultivares estão enxertadas sobre o porta-enxerto Maruba-Kaido com 20 cm de interenxerto de M-9.

Durante o período de condução do pomar de maçã 2019-2022, foi realizada 3 aplicações de compostagem: no plantio setembro 2019 (3 kg por planta), e em setembro de 2020 e fevereiro de 2021 com aplicação de 15 ton ha^{-1} (Tabela 01). Como fonte de P foi aplicado o fertilizante termofosfato Yorrin e de potássio (Yorrin K Master), na dose de 120 g por planta em setembro 2020 e 2021. Como biofertilizantes foram utilizados microorganismos eficientes (EM) e supermagro, aplicados via foliar. O manejo de plantas espontâneas na área do experimento foi realizado por manejo físico (capinas, roçadeira costal e rolo faca) e cultural com cultivo de plantas de cobertura no inverno e verão.

Tabela 01. Teores de nutrientes da compostagem utilizada no experimento.

ANO	P	COT*	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	SB**	CTC	V***	SAl
	mg dm^{-3}	*g dm^{-3}*				*$cmol_c$ dm^{-3}*					*%*	
2019	250.5	43.24	5.80	0.00	3.68	12.07	9.37	4.20	25.64	29.32	87.44	0.00
2020	218.3	45.97	5.90	0.00	3.68	11.82	9.37	4.20	25.39	29.07	87.34	0.00
2021	253.3	40.59	5.90	0.00	3.42	11.92	9.37	4.05	25.34	28.76	88.10	0.00

* Carbono orgânico total (COT); ** Soma de Bases (SB); *** Saturação de Bases

As coletas para avaliação química de solo foram realizadas em agosto de 2019 antes plantio, agosto de 2020 e agosto de 2022, nas profundidades: 0-20 cm e 20-40 cm, sendo cada amostra composta por cinco subamostras coletadas por linha em diferentes pontos, totalizando 5 repetições. As avaliações realizadas foram pH em água, teores de Al, Ca, Mg, P, K, carbono orgânico total (COT), Capacidade de troca de cátions (CTC), e Saturação de Bases (V%), conforme procedimentos descritos por Pavan *et al*. (1992).

A análise da variância (ANOVA) foi realizada utilizando o programa SAS, assumindo-se um modelo inteiramente casualizado, com 3 anos de avaliação e 5 repetições. O teste utilizado foi de Wilcoxon para dados não paramétrico e amostras dependentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como observado na Tabela 02, a condução de macieiras em cultivo orgânico alterou significativamente os atributos químicos do solo (P, COT, pH, H+Al, Ca, Mg, K, SB, CTC e V%) em ambas

camadas. Verificou-se que não houve presença de alumínio nas camadas de solo analisada em nenhum dos anos estudados, com diminuição significativa da acidez do solo (H+Al), indicando condições favoráveis para o desenvolvimento radicular das macieiras. Segundo Nava *et al*. (2002) o pH do solo ideal para o cultivo de macieiras, deve estar acima de 6,0, até pelo menos 40 cm de profundidade para melhor disponibilidade de nutrientes e neutralização do alumínio e manganês, além de ser favorável para a microbiota do solo.

Tabela 02. Evolução dos nutrientes do solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm em um pomar de macieiras cultivado em sistema orgânico de produção na Região Sudoeste do Paraná.

ANO	P	COT*	pH	H+Al	Ca	Mg	K	SB**	CTC	V***
	mg dm^{-3}	*g dm^{-3}*		*.....cmol$_c$ dm^{-3}.....*						*%*
					0-20 cm					
2019	12.23 b	29.33 b	5.33 c	5.33 c	6.89 b	3.52 b	0.61 c	11.02 b	16.35 a	66.93 c
2020	76.43 a	30.71 b	6.19 b	3.53 b	8.53 b	4.45 a	1.72 b	14.70 a	18.23 a	80.13 b
2022	76.74 a	54.55 a	6.41 a	2.25 a	12.80 a	3.68 b	3.48 a	19.96 a	22.10 a	89.53 a
					20-40 cm					
2019	4.23 b	26.51 b	5.03 b	6.84 b	5.34 b	3.07 a	0.43 c	8.83 b	15.68 b	55.50 b
2020	3.96 b	18.45 c	5.60 b	4.73 b	3.61 b	2.32 b	1.27 b	7.20 b	11.93 c	60.19 b
2022	23.42 a	35.38 a	6.00 a	2.73 a	10.60 a	2.64 b	2.09 a	15.33 a	18.07 a	83.49 a

* Carbono orgânico total (COT); ** Soma de Bases (SB); *** Saturação de Bases

O aumento de pH tem relação com o aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis no solo, obtidos pela aplicação de compostagem que apresenta valores altos destes nutrientes (Tabela 01), e ciclagem de nutrientes realizada pelas plantas de cobertura e espontâneas deste sistema. O Ca é um elemento importante na cultura da macieira, pois melhora a qualidade dos frutos e previnem a ocorrência de diversos distúrbios fisiológicos pós-colheita. Amarante *et al*., (2015) também observaram que os pomares orgânicos de macieira apresentaram teor de Ca acima de 4,0 cmol$_c$ kg^{-1} em comparação com pomares convencionais.

Os teores de P apresentaram um incremento de 627% e 591% nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Esse aumento deve-se pela aplicação da compostagem com altos teores de P (Tabela 01), aplicação de Yorrin e microrganismos eficientes que desempenham um papel importante na decomposição, liberação de nutrientes e aumento da matéria orgânica do solo (Silva *et al*., 2022).

A matéria orgânica (COT) apresentou um incremento de 186% e 133% na camada de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Os maiores teores de COT estão associados ao manejo dado às plantas de cobertura dos pomares, bem como a quantidade de resíduos aportados ao solo. Segundo Trombetta *et al.,* (2020) o aumento da matéria orgânica do solo incrementa a diversidade biológica do solo, colaborando para a melhoria dos atributos do solo, proporcionando um ambiente mais saudável e fértil para o desenvolvimento das plantas.

Os teores de K aumentaram significativamente do ano de 2019 para 2022, com incremento de 570% e 487% na camada de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Segundo Amarante *et al*., (2015) o teor crítico de K é 0,22 cmol$_c$ kg^{-1}. Os teores de K estiveram acima do nível crítico desde o início do experimento (Tabela 02) até camada de 40 cm, garantindo suprimento adequado desse elemento à cultura. Segundo Kuzin & Solovchenko, (2021) o K é responsável pelo crescimento da planta, rendimento e da qualidade do fruto da maçã como cor, tamanho e teor de açúcar.

CONCLUSÕES

O manejo de pomares de maçã em sistema orgânico favorece o aumento dos nutrientes do solo, com maior contribuição nos teores de COT trazendo ganhos significativos para qualidade do solo.

BIBLIOGRAFIA

AMARANTE, C. V. T.; ROSA, E.; ALBUQUERQUE, J.; KLAUBERG-FILHO, O.; STEFFENS, C. Atributos do solo e qualidade de frutos nos sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs no Sul do Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 99-109, 2015.

CARNEIRO, R. S. de A.; VIEIRA, C. R. Produção de mudas de espécies florestais em substrato contendo esterco de aves ou esterco bovino. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 24, n. 4, p. 386-395, 2020.

DE AZEREDO, C. F. O. *et al*. Agricultura: uma perspectiva do cultivo sustentável na produção de alimentos orgânicos. **Semana da Diversidade Humana**, v. 4, n. 5, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Statistical databases. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/ DesktopDefault. aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em: 06 mar. 2025.

HOLB, I., DREMÁK, P., BITSKEY, K., GONDA, I. Yield response, pest damage and fruit quality parameters of scab-resistant and scab-susceptible apple cultivars in integrated and organic production systems. **Scientia Horticulturae**, v. 145, p. 109-117, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de Maçã Safra 2023/2024**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maca/br>. Acesso em: 07 mar. 2025.

KUZIN, A.; SOLOVCHENKO, A. Essential Role of Potassium in Apple and Its Implications for Management of Orchard Fertilization. **Plants**, n. 10, 2624, 2021.

NAVA, G. *et al*. Fertilidade do solo e nutrição na Produção Integrada de Maçã. 2002. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/537742>. Acesso: 08 mar. 2025.

PAVAN, M. *et al*. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade Londrina: IAPAR,** 1992**.** Circular técnica, v. 76, 1992. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496. Acesso em: 28 jan. 2025.

PECK, G. M.; MERWIN, I. A.; THIES, J. E.; SCHINDELBECK, R. R.; BROWN, M. G. Soil properties change during the transition to integrated and organic apple production in a New York orchard. **Applied Soil Ecology**, v. 48, n. 1, p. 18-30, 2011.

PIMENTEL, M.; DE-POLLI, H.; CORREIA, M.; ROUWS, J. Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 545-552, 2011.

ROUSSOS, P. A.; GASPARATOS, D. Apple tree growth and overall fruit quality under organic and conventional orchard management. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 2, p. 247-252, 2009.

SHIVAKUMAR, B. S.; DHARMATTI, P. R.; CHANNAL, H. T. Effect of organic cultivation of papaya on yield, economics and soil nutrient status. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, India. v. 25, n. 4, p. 488-492, 2012.

SILVA, A. L. da; CORDEIRO, R. S.; ROCHA, H. C. R. da. Aplicability of Efficient Microorganisms (EM) in agriculture: literature review . **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e32311125054, 2022.

TROMBETTA, L. J. *et al*. Resíduos orgânicos e suas implicações com o carbono orgânico e microbiota do solo e seus potenciais poderes poluentes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43996-44005, 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

UM ESTUDO DE CAMPO DE 10 ANOS SOBRE AS MUDANÇAS NAS FRAÇÕES DE FÓSFORO NO SOLO DE VINHEDOS NO SUL DO BRASIL

Lincon Stefanello[1*], Raíssa Schwalbert[2], Vitor Eduardo Heydt Sachser[3], Guilherme Gabriel Massola[3], Gustavo Brunetto[4]

[1] Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), * lincono@utfpr.edu.br; [2] Pesquisadora, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); [3] Estudante de graduação, UTFPR; [4] Professor, UFSM.

RESUMO

No sul do Brasil os vinhedos são implantados em solos ácidos e com baixa disponibilidade de fósforo (P), sendo necessária a aplicação de fertilizantes fosfatados para adequada produção. No entanto, as recomendações técnicas ainda são pouco específicas. O objetivo do estudo foi avaliar alterações químicas em frações de P na rizosfera de videiras 'Chardonnay' e 'Pinot Noir' cultivadas sob doses de fertilizantes fosfatados em solo arenoso no Sul do Brasil. Os tratamentos foram aplicação de três doses de fertilizantes fosfatados (0, 40 e 100 kg P_2O_5 ha^{-1}) durante 5 anos, totalizando 0, 87 e 218 kg P ha^{-1}. As frações de P na rizosfera foram determinadas após dez anos da implantação. A aplicação de P promoveu aumento do P inorgânico e diminuição do P orgânico do solo, especialmente na dose mais elevada. Destacamos a necessidade de estabelecer recomendações específicas para videiras brancas e tintas para melhor manejo da adubação fosfatada.

PALAVRAS-CHAVE: P *pools*; fósforo orgânico; fósforo inorgânico; labilidade; videiras.

INTRODUÇÃO

'Chardonnay' e 'Pinot Noir' estão entre as principais cultivares de *Vitis vinifera* L., amplamente utilizadas na produção de vinhos finos, varietais e espumantes. 'Chardonnay' é altamente versátil e a uva branca mais cultivada no mundo, enquanto 'Pinot Noir', a quinta uva tinta mais cultivada, apresenta adaptabilidade limitada (Schreiner e Osborne, 2018). No Sul do Brasil, essas cultivares representam mais de 60% da produção nacional de uvas e vinhos (Schmitt *et al*., 2013). Nessa região, os solos são arenosos, naturalmente ácidos, pobres em matéria orgânica e fósforo (~5 mg kg^{-1}), tornando essencial a aplicação de corretivos da acidez e fertilizantes fosfatados (CQFS-RS/SC, 2016).

No solo, o fosfato tem alta afinidade por minerais, como óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (Rheinheimer *et al*., 2019). Assim, a aplicação de fertilizantes fosfatados aumenta o *pool* de P inorgânico no solo (Gatiboni e Condron, 2021). Esse *pool* possui labilidade intermediária e é essencial para a nutrição de longo prazo de plantas perenes (Schmitt *et al*., 2013). No entanto, aplicações sucessivas de P acima da demanda das plantas podem saturar os sítios de adsorção das partículas do solo na camada superficial (Brunetto *et al*., 2013). Outros fatores, como o cultivo de plantas, influenciam a distribuição do P entre as frações do solo, através da exsudação de compostos solubilizantes, os quais mineralizam o P orgânico em formas mais acessíveis às plantas (Gatiboni e Condron, 2021).

Os sistemas brasileiros de recomendação de fertilizantes determinam a dose de P com base em análises de solo e tecido, considerando a concentração de P e o teor de argila na camada diagnóstico (CQFS-RS/SC, 2016). No entanto, não consideram fatores como exigências nutricionais e potencial produtivo de cada cultivar, tampouco, o destino final da uva (Schreiner e Osborne, 2018). Isso pode resultar em aplicações excessivas de fertilizantes, representando um risco de contaminação ambiental, especialmente em solos arenosos (Schmitt *et al*., 2013), e esgotamento das reservas fosfatadas não renováveis.

Além disso, a literatura reporta que mais de 80% do fertilizante fosfatado aplicado em solos agrícolas permanece em formas de baixa labilidade (Gatiboni e Condron, 2021). Diante disso, estudos que investiguem a recuperação do P pelas plantas em condições de campo podem ser uma alternativa economicamente viável

e ambientalmente sustentável. Esse estudo objetivou avaliar as alterações químicas em frações de P na rizosfera de videiras 'Chardonnay' e 'Pinot Noir' cultivadas sob doses de fertilizantes fosfatados em solo arenoso no Sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Santana do Livramento (30° 81' 31" S; 55° 45' 09" W), Rio Grande do Sul (RS), extremo Sul do Brasil em um Argissolo Vermelho Distrófico típico (Santos, 2018). O vinhedo foi implantado em outubro de 2011 sob um sistema de condução espaldeira (4000 plantas por hectare). Em 2011, após análise do solo e interpretação, foram aplicados na superfície do solo em área total calcário para elevar o pH do solo a 6,0, boro (B) e nitrogênio (N) como adubação de implantação (CQFS-RS/SC, 2016). Em seguida, o solo recebeu uma aração e duas gradagens a 20 cm de profundidade para incorporação.

Durante esse processo, foram aplicados 0, 40 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 na superfície do solo, correspondendo às condições de controle, média e alta doses de P, respectivamente. Em seguida, os fertilizantes fosfatados foram incorporados mecanicamente ao solo. A fonte de P foi o superfosfato triplo (43% P_2O_5). Posteriormente, foram implantadas as cultivares de videira 'Chardonnay' e 'Pinot Noir' (*Vitis vinifera* L.), enxertadas sobre porta-enxerto '1103 Paulsen'. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições, e cada repetição foi composta por dez plantas. As doses anuais de fertilizante fosfatado (0, 40 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5), foram reaplicadas sobre a superfície do solo de 2011 até 2016, correspondendo a aportes cumulativos de 0, 87 e 218 kg de P ha^{-1}, respectivamente.

Em 2022, após dez anos de cultivo, o solo dos vinhedos foi amostrado utilizando pá de corte (0–5 e 5–10 cm). As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas em malha de 1 mm. Em seguida, as amostras foram submetidas a fracionamento químico de P (Gatiboni e Condron, 2021). Na subamostra A foi determinada a capacidade máxima de adsorção de P do solo. Na subamostra B, determinou-se o P total do solo. A subamostra C foi submetida a extrações sequenciais com: (a) $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} (P em solução), (b) Mehlich-3 (P disponível), (c) NaOH 0,5 mol L^{-1} (P inorgânico e P orgânico) e (d) HCl 1 mol L^{-1} (P ligado a Cálcio). As frações de P foram somadas (∑Frações), e a diferença entre o P total e o ∑Frações foi considerado como P ocluso. As diferenças entre a quantidade de P obtida nos tratamentos com aplicação de P (87 ou 218 kg P ha^{-1}) menos o tratamento sem aplicação (0 kg P ha^{-1}) foram calculadas para cada fração de P do solo e para o P total, denominado delta de P (ΔP). A densidade do solo em cada camada foi obtida usando anéis volumétricos (Embrapa, 2017). Com base na densidade do solo e na concentração de P no solo, a quantidade de P (kg ha^{-1}) foi calculada para cada camada do solo.

Modelos lineares mistos foram ajustados para cada variável analisada, utilizando o pacote "*lme4*" (Bates *et al*., 2015) do ambiente estatístico R (R Core Team, 2025). Quando o efeito do tratamento foi significativo ($p < 0,05$) na ANOVA, as comparações de médias foram realizadas pelo teste de Tukey utilizando o pacote "*emmeans*".

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As frações de P na camada superficial do solo apresentaram mudanças semelhantes sob ambos os fornecimentos de P, embora com magnitudes diferentes (Figura 1). O teor de P total no solo aumentou com a adição de P (Δ218 e Δ87), para ambos os vinhedos. No entanto, foi maior no solo de vinhedo 'Chardonnay' em relação ao 'Pinot Noir' (Figura 1), uma vez que, 'Pinot Noir' foi mais produtiva e exportou mais P do solo. Além disso, o teor de P total no solo foi superior em Δ218 em comparação com Δ87. O aumento do P total em Δ218 foi principalmente influenciado pelo acréscimo de P inorgânico, conforme já relatado na literatura para solos de pomares e vinhedos (Schmitt *et al*., 2013). Devido à alta afinidade do fosfato por minerais do solo, como óxidos de Fe e Al, essa ligação se fortalece ao longo do tempo (Rheinheimer *et al*., 2019).

Enquanto em Δ87, o aumento foi impulsionado pelo acréscimo de P disponível, de maior labilidade e disponibilidade às plantas (Gatiboni e Condron, 2021).

De modo geral, a aplicação de 87 kg P ha^{-1} aumentou o *pool* de P orgânico no solo (Figura 1), conforme relatado em estudos anteriores (Schmitt *et al*., 2013). Por outro lado, a aplicação de 218 kg P ha^{-1} reduziu o *pool* de P orgânico no solo (Figura 1). Esses resultados estão de acordo com um estudo de longo prazo conduzido por Brunetto *et al*. (2013), no qual vinhedos que receberam alta adubação fosfatada (187 kg P ha^{-1}) apresentaram uma redução drástica no *pool* de P orgânico no solo. A aplicação de 218 kg P ha^{-1} estimulou o crescimento vegetativo das videiras e plantas de cobertura, que, por meio de suas raízes, mobilizaram o P orgânico, aumentando o P inorgânico no solo (Gatiboni e Condron, 2021).

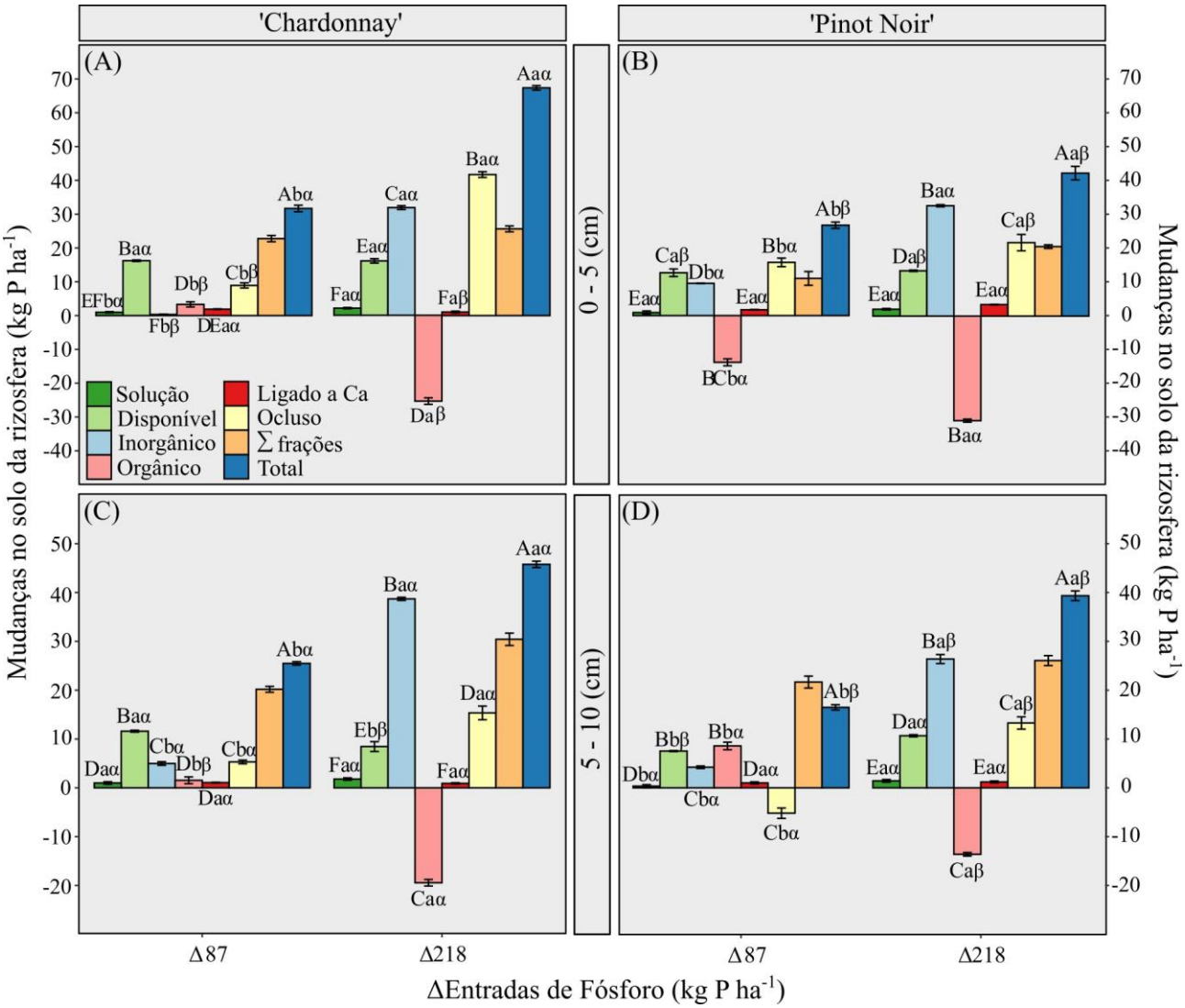


Figura 1. Alterações nas frações de P das camadas superficiais do solo (0–5 e 5–10 cm) em vinhedos de 'Chardonnay' (A, C) e 'Pinot Noir' (B, D) cultivados em solos arenosos sob condições de fornecimento de P no Sul do Brasil. Letras maiúsculas comparam as frações de P do solo para o mesmo ΔP e cultivar de videira. Letras minúsculas comparam a mesma fração de P do solo entre ΔP para cada cultivar de videira. Letras gregas comparam a mesma fração de P do solo entre cultivares de videira para cada ΔP. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey (p < 0,05). As barras verticais representam o desvio padrão (n = 3).

CONCLUSÕES

Do ponto de vista do P no solo, o *pool* de P orgânico diminuiu, enquanto o P inorgânico aumentou sob alta disponibilidade de P. Nossos resultados destacam a necessidade de estabelecer recomendações de adubação fosfatada independentes para videiras brancas e tintas, a fim de desenvolver planos de manejo nutricional sustentável, considerando aspectos econômicos e ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os discentes e docentes da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Kansas State University (K-State), e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), envolvidos na elaboração, condução e financiamento deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, p. 1–48, 2015.

BRUNETTO, G.; LORENSINI, F.; CERETTA, C. A.; GATIBONI, L. C.; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; MIOTTO, A.; LOURENZI, C. R.; MELO, G. W. B. Soil phosphorus fractions in a sandy typic Hapludalf as affected by phosphorus fertilization and grapevine cultivation period. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** v. 44, p. 1937–1950, 2013.

CQFS-RS/SC. **Manual de calagem e adubação dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11th ed. Frederico Westphalen: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

EMBRAPA – E.B.P.A. Manual de métodos de análises de solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

GATIBONI, L. C.; CONDRON, L. M. A rapid fractionation method for assessing key soil phosphorus parameters in agroecosystems. **Geoderma**, v. 385, p. 114893, 2021.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31–36, 1962.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** 2025. Disponível em: https://www.r-project.org/.

RHEINHEIMER, D. S.; FORNARI, M. R.; BASTOS, M. C.; FERNANDES, G.; SANTANNA, M. A.; CALEGARI, A.; CANALLI, L. B. S.; CANER, L.; LABANOWSKI, J.; TIECHER, T. Phosphorus distribution after three decades of different soil management and cover crops in the subtropical region. **Soil & Tillage Research**, v. 190, p. 33–41, 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO-FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHMITT, D. E.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C.; TIECHER, T.; LORENSINI, F.; MELO, G. W. B.; GIROTTO, E.; GUARDINI, R.; HEINZEN, J.; BRUNETTO, G. Phosphorus fractions in sandy soils of vineyards in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 472–481, 2013.

SCHREINER, R. P.; OSBORNE, J. Defining phosphorus requirements for Pinot Noir grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture,** v. 69, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ALTERAÇÕES EM FORMAS DE FÓSFORO NA RIZOSFERA DE SOJA CULTIVADA EM SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS

Lincon Stefanello[1*], Raíssa Schwalbert[2], Franciele Morlin Carneiro[1], Armando Lopes de Brito Filho[3], Geovanna Eliza Kolze Rodrigues[4]

[1] Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), * lincono@utfpr.edu.br; [2] Pesquisadora, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); [3] Professor, Faculdade Uniguaçu; [4] Estudante de Graduação, UTFPR.

RESUMO

As reservas mundiais de fósforo (P) são finitas. Assim, se torna imprescindível explorar estratégias de aquisição de P por plantas cultivadas, como a soja. O estudo objetivou avaliar a influência da textura e do nível de P no solo sobre formas de P na rizosfera após o cultivo de soja. Plantas de soja foram cultivadas em solos naturalmente contrastantes em textura (arenoso e argiloso) e níveis de P (baixo e alto). Fracionamento químico de P foi realizado na rizosfera antes e depois do cultivo das plantas. O P inorgânico aumentou na rizosfera após o cultivo. Já o P orgânico foi mais acessado sob baixa disponibilidade de P. Formas de P com labilidade moderada (P orgânico) e baixa (P ligado a cálcio), podem ser acessadas mesmo sob alta disponibilidade de P. A textura e o nível de P no solo influenciaram a dinâmica das frações de P na rizosfera da soja.

PALAVRAS-CHAVE: frações de P no solo; fracionamento químico; *Glycine max*; rizosfera; absorção de P.

INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas geralmente apresentam elevadas concentrações de P total, no entanto, apenas uma pequena fração desse P encontra-se disponível para as plantas devido às interações químicas de alta energia do P com o solo (Guo *et al*., 2022). As plantas absorvem o P presente na solução do solo, e à medida que o P dessa fração diminui, outros compartimentos (*pools)* de P, como o P disponível (ligado a partículas do solo com menor energia) podem restituí-lo (Ahmed *et al*., 2019). O P também pode estar ligado com maior energia aos constituintes do solo, portanto apresentando menor probabilidade de ser acessado pelas plantas, como ocorre com o P ligado aos óxidos de alumínio (Al) e ferro (Fe), P ligado a compostos orgânicos estabilizados e P ligado ao cálcio (Ca) (Amadou *et al*., 2021).

A textura do solo influencia a distribuição das frações de P. Solos arenosos, com baixa reatividade e capacidade tampão, mantêm o P em formas mais disponíveis. Já solos argilosos, ricos em óxidos de Al e Fe, retêm o P com alta energia, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (Tiecher *et al*., 2018; Gatiboni e Condron, 2021). Apesar disso, os *pools* de P no solo não são encontrados em frações estáveis e permanentes, pelo contrário, são dinâmicos e podem se rearranjar mediante influência do crescimento das plantas, da atividade microbiana e da fertilização (Richardson e Simpson, 2011). As plantas que crescem sob baixa disponibilidade de P também podem liberar exsudatos radiculares na rizosfera para melhorar a aquisição de nutrientes (Guo *et al*., 2022). Estratégias como essa são bem documentadas em espécies nativas de solos pobres em P, mas pouco exploradas em culturas altamente exigentes, como a soja.

No Brasil, a soja é cultivada majoritariamente em solos intemperizados e ácidos, como Argissolos e Latossolos (Santos *et al*., 2018). Esses solos apresentam alta capacidade de adsorção de P, o que reduz sua disponibilidade para as plantas (Gatiboni e Condron, 2021). Assim, a adubação fosfatada é amplamente utilizada para viabilizar a produção da soja nesses solos. No entanto, o uso excessivo de fertilizantes pode ser inviável devido à escassez de reservas naturais e ao alto custo de produção (Gatiboni e Condron, 2021; Guo *et al*., 2022). Assim, compreender o papel das formas de P no solo é essencial para otimizar a adubação e melhorar a eficiência do nutriente na soja (Amadou *et al*., 2021). Diante disso, o estudo objetivou avaliar a influência da textura e do nível de P no solo sobre formas de P na rizosfera após o cultivo de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Argissolos e Latossolos bem drenados (Santos *et al*., 2018) foram amostrados no Sul do Brasil (29°43'50.0"S; 53°42'54.6"W e 28°27'48.1"S; 52°53'56.4"W, respectivamente). Neste estudo, foram referidos como (i) solo arenoso e (ii) argiloso, respectivamente. Ambos foram amostrados sob condições contrastantes de disponibilidade P: (i) alta, obtida em áreas antropizadas com histórico de adubação fosfatada; e (ii) baixa, obtida em áreas naturais adjacentes aos locais agrícolas amostrados.

O estudo foi conduzido em casa de vegetação localizada na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Sul do Brasil (29°42’56.44’’ S e 53°43’12.57’’ W). Cada unidade experimental consistiu em um vaso plástico (7 litros de solo e quatro plantas de soja). Uma membrana de náilon de 30 µM separou o solo da rizosfera. Foram selecionados dois genótipos de soja (BMX 55i57 IPRO e NS 5445 IPRO). As plantas foram cultivadas até a maturação fisiológica. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 24 unidades experimentais.

Ao final do experimento, as plantas foram amostradas, secas em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C, até massa constante. Após, a massa seca foi determinada utilizando balança de precisão. As amostras secas foram finamente moídas em moinho tipo Willey e passadas em peneira de malha de 1 mm. Os tecidos foram submetidos à digestão nitroperclórica (Embrapa, 2009), e a concentração total de P foi determinada pelo método de Murphy e Riley (1962) utilizando um espectrofotômetro UV-visível a 882 nm. O teor de P de cada amostra foi o produto da massa seca pela concentração total de P. A absorção de P pela planta (mg P kg^{-1} de solo) foi estimada considerando o volume do solo (vaso) e a densidade do solo.

O solo da rizosfera foi amostrado e submetido ao fracionamento químico de P (Gatiboni e Condron, 2021). A subamostra A determinou a capacidade máxima de adsorção de P do solo. A subamostra B determinou o P total do solo. A subamostra C foi submetida a extrações sequenciais com: (a) $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} (P em solução), (b) Mehlich-3 (P disponível), (c) NaOH 0,5 mol L^{-1} (P inorgânico e P orgânico) e (d) HCl 1 mol L^{-1} (P ligado a Cálcio). A soma das frações (∑ Frações) foi obtida pela soma de P em solução, P disponível, P inorgânico, P orgânico e P ligado a Cálcio. As diferenças entre as concentrações finais e iniciais de P no solo (deltas) foram calculadas para cada fração de P no solo, ∑ Frações e P total.

Modelos lineares mistos foram ajustados, considerando a textura do solo, nível de P e a interação entre esses fatores como de efeito fixo, e genótipos como aleatório. Todos os modelos foram ajustados usando o pacote “*lme4*” (Bates *et al*., 2015) do ambiente estatístico R (R Core Team, 2025). Quando o efeito do tratamento foi significativo ($p < 0,05$), comparações das médias foram realizadas pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O compartimento total de P no solo superestima a absorção de P pela planta, especialmente em solos argilosos (Figura 1b). Por outro lado, a soma das frações de P (∑ Frações) foi mais próxima da absorção real de P pela planta, em comparação ao P total (Figura 1). Sob baixa disponibilidade de P no solo, o P orgânico e o P inorgânico sofreram maiores alterações após o cultivo. No entanto, sob um alto nível de disponibilidade de P, os *pools* de P disponível e P inorgânico foram as frações que refletiram as maiores mudanças (Figura 1). Além disso, o P disponível superestima a absorção de P pela planta em solos arenosos (Figura 1a) e subestima esse processo em solos argilosos (Figura 1b).

Em nosso estudo, a maior parte do P em Argissolos estava presente em *pools* disponíveis. Em Argissolos geralmente predominam minerais silicatados, como quartzo, que têm baixa reatividade e baixa capacidade de adsorver P em frações lábeis moderadas (Tiecher *et al*., 2018). Por outro lado, em Latossolos, o P está presente principalmente em frações inorgânicas e orgânicas, de baixa a média disponibilidade para as plantas, devido às ligações de alta energia do fosfato com minerais de argila (Gatiboni e Condron, 2021).

Embora essas frações sejam menos acessíveis às plantas, elas representam um *pool* essencial para manter as formas de P disponíveis em solos argilosos (Tiecher *et al*., 2018). Além disso, as plantas liberam açúcares solúveis das raízes que estimulam a atividade microbiana na rizosfera (Amadou *et al*., 2021). Como a biomassa microbiana pode conter substancialmente mais P do que a biomassa vegetal, espera-se que o consumo total de P supere a absorção da planta (Richardson e Simpson, 2011), como ocorreu neste estudo (Figura 1). No entanto, o P sequestrado no tecido microbiano torna-se disponível para as plantas após a morte celular. Assim, as formas de P no solo são dinâmicas; elas podem ser fontes ou drenos de P, ou mesmo, serem reorganizadas em outras frações ao longo do tempo, de acordo com as entradas e saídas de P no sistema (Gatiboni e Condron, 2021; Guo *et al*., 2022) e as características do solo.

Sob baixa disponibilidade de P, o pool orgânico-P foi o mais esgotado após o cultivo, enquanto o inorgânico-P aumentou, indicando rearranjo de P no solo após o cultivo da soja (Figura 1). A solubilização de P a partir de *pools* moderadamente disponíveis no solo, como orgânico-P, é impulsionada por características da raiz e interações microrganismos-raiz-solo (Guo *et al*., 2022). Uma das razões é devido à menor proteção física da matéria orgânica em solos arenosos, o que favoreceu a degradação microbiana e a imobilização de compostos de carbono e P (Ahmed *et al*., 2019). Além disso, leguminosas que crescem em solos empobrecidos em P geralmente secretam exsudatos de raízes para mobilizar P orgânico (Guo *et al*., 2022), liberando-o como P inorgânico, para ser absorvido pelas plantas (Amadou *et al*., 2021). O excedente de P liberado pode ser adsorvido às partículas do solo, aumentando o pool de P inorgânico (Gatiboni e Condron, 2021; Tiecher *et al*., 2018).

Por outro lado, quando as plantas cresceram em solos enriquecidos com P, elas acessaram a fração de P disponível (Figura 1). Muitos exsudatos de raízes de soja são liberados para a rizosfera mesmo sob disponibilidade suficiente de P, liberando P de óxidos de Al, Fe, ésteres de fosfato orgânico e formas precipitadas de P de fosfatos de Ca (Amadou *et al*., 2021; Richardson e Simpson, 2011).

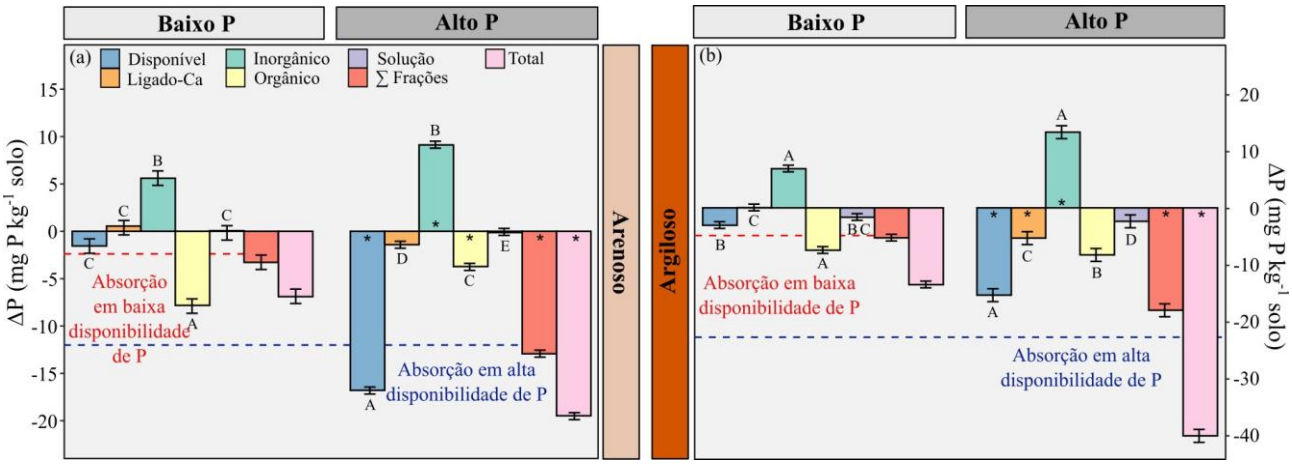


Figura 1. Delta (Δ) das frações de P em solos (a) arenosos e (b) argilosos. Os valores de delta representam a diferença na fração de P do solo entre o final e o início do experimento. As linhas tracejadas representam a estimativa da absorção de P pelas plantas (mg P por kg de solo). As barras verticais representam o erro padrão. Letras maiúsculas comparam frações de solo para a mesma textura e nível de P. * Indicam uma diferença significativa entre os níveis de P para a mesma textura ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

Nosso estudo indica que o pool de fósforo inorgânico aumenta na rizosfera de solos arenosos e argilosos após o cultivo de soja, independentemente da disponibilidade de P no solo. O P orgânico é a fração mais acessada sob baixa disponibilidade de P. Além disso, os *pools* de P do solo com labilidade moderada e

baixa, como o P orgânico e o P ligado ao cálcio, podem ser acessados na rizosfera, mesmo sob alta disponibilidade de P.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os discentes e docentes da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Kansas State University (K-State), e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), envolvidos na elaboração, condução e financiamento deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

AHMED, W.; HUANG, J.; LIU, K. L.; QASWAR, M.; KHAN, M. N.; CHEN, J.; SUN, G.; HUANG, Q. H.; LIU, Y. R.; LIU, G. R.; SUN, M.; LI, C.; LI, D. C.; ALI, S.; NORMATOV, Y.; MEHMOOD, S.; ZHANG, H. M. Changes in phosphorus fractions associated with soil chemical properties under long-term organic and inorganic fertilization in paddy soils of southern China. **PLoS ONE**, v. 14, p. e0216881, 2019.

AMADOU, I.; HOUBEN, D.; FAUCON, M.-P. Unravelling the role of rhizosphere microbiome and root traits in organic phosphorus mobilization for sustainable phosphorus fertilization: a review. **Agronomy**, v. 11, p. 2267, 2021.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, p. 1–48, 2015.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 2.ed. 2009, 627 p.

GATIBONI, L. C.; CONDRON, L. M. A rapid fractionation method for assessing key soil phosphorus parameters in agroecosystems. **Geoderma**, v. 385, p. 114893, 2021.

GUO, L.; YU, Z.; LI, Y.; XIE, Z.; WANG, G.; LIU, X.; LIU, J.; LIU, J.; JIN, J. Plant phosphorus acquisition links to phosphorus transformation in the rhizospheres of soybean and rice grown under CO_2 and temperature co-elevation. **Science of The Total Environment**, v. 823, p. 153558, 2022.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31–36, 1962.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** 2025. Disponível em: https://www.r-project.org/.

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability: update on microbial phosphorus. **Plant Physiology**, v. 156, p. 989-996, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO-FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

TIECHER, T.; GOMES, M. V.; AMBROSINI, V. G.; AMORIM, M. B.; BAYER, C. Assessing linkage between soil phosphorus forms in contrasting tillage systems by path analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 276–280, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

OS COMPOSTOS BIOATIVOS DA ERVA-MATE SÃO INFLUENCIADOS PELA ADUBAÇÃO NITROGENADA?

Vinícius Charnecki Galvão[1*], Volnei Pauletti[2], Ivar Wendling[3], Marcia Toffani Simão Soares[4]
[1] Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná - UFPR. * vinicius_charneck@hotmail.com; [2] Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Universidade Federal do Paraná – UFPR; [3] Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Florestais, Embrapa Florestas; [4] Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia, Embrapa Florestas.

RESUMO

Os compostos bioativos são amplamente utilizados na indústria farmacêutica. Na erva-mate ainda existem dúvidas se estes compostos são influenciados pela adubação nitrogenada. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da adubação nitrogenada nos principais compostos de interesse na erva-mate. Para isso foram utilizados folhas e galhos finos provenientes de um experimento implantado em 2018 em General Carneiro – PR. Foi utilizado um delineamento experimental de blocos ao acaso, com tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas. Foram aplicadas cinco doses anuais de nitrogênio (N) (0, 20, 40, 60 e 80 g de N planta^{-1} ano^{-1}) em dois clones de erva-mate Yari e Aupaba. Os teores dos compostos bioativos não foram afetados pelo fornecimento de N nos dois clones, porém o clone Yari apresentou maior concentração de teobromina (7,05 mg g^{-1}) quando comparado ao Aupaba (2,57 mg g^{-1}). Por outro lado, o clone Yari apresentou menor teor de cafeína (5,60 mg g^{-1}) quando comparado ao Aupaba (16,42 mg g^{-1}).
PALAVRAS-CHAVE: *Ilex paraguariensis*; cafeína; teobromina; nitrogênio.

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. sT-Hil) é uma planta nativa da região sul do continente americano, sendo uma das culturas com maior importância nos sistemas agroflorestais do sul do Brasil, podendo ser explorada de forma natural, monocultivo, em consórcio ou intercalada (Dedecek e Rodigheri, 1999). O produto colhido é constituído principalmente por folhas e galhos finos (Reismann e*t al*., 1985). O consumo da erva mate se dá principalmente na forma de chimarrão e chá.

Os compostos bioativos são originados a partir do metabolismo secundário das plantas, que não apresentam essencialidade na sobrevivência das espécies vegetais, mas auxiliam na defesa contra patógenos e estresses, podendo também auxiliar na polinização e dispersão de sementes (Silva, 2012). Não possuem papel direto nos processos de fotossíntese, respiração, transporte e síntese de proteínas (Taiz; Zeiger, 2013) e são sinalizados em respostas à estímulos externos. Os metabólitos secundários podem ser divididos em três grupos: terpenos, compostos fenólicos e alcalóides (Verma, Shukla, 2015).

Os principais compostos fenólicos presentes na erva-mate são os ácidos cafeoilquínicos (monocafeoilquínicos e dicafeoilquínicos), formados a partir da esterificação entre o ácido quínico e o ácido cafeico (Wozniak *et al.,* 2020). Já os principais alcalóides são as metilxantinas, que englobam a cafeína e a teobromina (Ashihara; Crozier, 1999; Yin; Katahira; Ashirara, 2015).

Segundo Dartora *et al*. (2011), plantas cultivadas com maior incidência solar apresentaram uma porcentagem maior de compostos fenólicos e maior potencial produtivo de antioxidantes, quando comparadas as cultivadas na sombra. A adubação também exerce influência, visto que além de estimular o crescimento pode influenciar nos metabólitos secundários (Yang *et al.,* 2018).

A palatabilidade das bebidas derivadas da erva-mate (chás, chimarrão, tereré) pode ser alterada por meio de variações nos teores de metilxantinas e polifenóis (Scherer *et.al*., 2002), afetando diretamente o público consumidor. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da adubação nitrogenada nos principais compostos bioativos da erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado por meio de um experimento implantado em agosto de 2018, em General Carneiro – PR, onde no momento da colheita as plantas estavam com 6 anos. O experimento está localizado nas seguintes coordenadas: -26º25´57.54" S, 51º 23´27.62 O, a 1172 metros de altitude, em clima classificado como Cfb (Alvares *et al*., 2013).

Foi utilizado um delineamento experimental de blocos ao acaso, combinando cinco doses de N aplicadas em dois clones de erva-mate, distribuídos a campo em parcelas subdivididas, com quatro repetições. O espaçamento entre linhas de plantio foi de 3m e entre plantas na linha de 1,5m, totalizando 2.222 plantas por hectare. Cada parcela foi composta por seis linhas, sendo as duas externas consideradas bordaduras e as quatro internas, duas de cada clone, as úteis. Cada linha contém cinco plantas, sendo as duas externas no início e final da linha as bordaduras.

Nas parcelas foram aplicadas doses anuais de nitrogênio (0, 20, 40, 60 e 80 g de N planta^{-1} ano^{-1}) desde 2022, e nas sub-parcelas os dois clones de erva-mate (BRS BLD Yari e BRS BLD Aupaba). A fonte de N utilizada foi a ureia, contendo 45% de N. As adubações anuais foram realizadas em superfície, na projeção da copa, com as doses divididas e aplicadas em janeiro e agosto.

Na colheita realizada no ano de 2024, foram coletadas amostras e na sequência foram levadas ao laboratório para serem secas em microondas, com períodos de 1 minuto e 30 segundos, sendo constantemente revolvidas para evitar processos de queima e oxidação, em potência máxima. Posteriormente foram moídas em moedor de café (Cadence®), após isso, 25 mg de amostra foram pesadas e diluídas com 2 mL de água MilliQ (água ultrapura). O material foi aquecido em banho maria por 30 minutos à 100°C, agitados manualmente a cada 10 minutos. Posteriormente, os extratos aquosos foram filtrados em um filtro de 0,22 µm e transferidos para balões volumétricos de 50 mL, que foram utilizados para determinar os compostos fenólicos totais, metilxantinas e ácidos cafeoilquínicos (medidos por HPLC-UV).

Para as análises cromatográficas, foi utilizado um cromatógrafo líquido Shimadzu® (UFLC), controlado pelo software de solução LC e equipado com injetor automático e detector UV (SPD-20A). A separação dos compostos foi realizada usando a coluna Shim-Pack CLC-ODS (M) C18 (250 x 4,6 mm i.d., tamanho de partícula de 5 um), protegida pela pré-coluna Shim-Pack CLC G-ODS (100 x 4,0 mm id) ambas da Shimadzu (Kyoto, Japão). A separação dos compostos no extrato aquoso (20 uL de injeção) foi conduzida a 30 °C usando um fluxo de 0,5 mL min^{-1}. As fases móveis consistiram em uma eluição gradiente de água com ácido acético DinâmicaR (99,9:0,1, v v^{-1}) (solvente A) e acetonitrila Merck® 100 % (solvente B).

A detecção do composto foi realizada no comprimento de onda fixo de 280 nm. O programa de eluição de gradiente foi: 0-15 min (3-3 % B), 15-20 min (3-20 % B), 20-40 min (20-20 % B), 40-45 min (20-30 % B), 45-55 min (30-100 % B), 55-75 (100-100 % B), 75-80 (100-3 % B) e 80-95 (3-3 % B).

A identificação e quantificação das metilxantinas: 1,3,7-trimetilxantina (cafeína) e 3,7-dimetilxantina (teobromina) foi realizada por meio de uma curva analítica dos padrões de cafeína e teobromina Sigma® na faixa de 0 a 1,0 mg mL^{-1} e 0 a 0,5 mg mL^{-1} respectivamente. A identificação dos ácidos cafeoilquínicos (ácido 3-cafeoilquínico (3-CQA), ácido 4-cafeoilquínico (4-CQA), ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA) pelos padrões Sigma® e a semi quantificação foi realizada por uma curva analítica na faixa de 0 a 10 mg mL^{-1} do 3-CQA Sigma®. Os resultados foram expressos como mg de compostos por g de amostra (mg g^{-1}) em base seca.

Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro Wilk e posteriormente analisados por regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições avaliadas, a adubação nitrogenada não alterou o teor de compostos bioativos na erva-mate (Tabela 1). Quanto à diferença da composição entre clones, o clone Yari ocorreu maior teor de teobromina (7,05 mg g^{-1}) quando comparado ao Aupaba (2,57 mg g^{-1}). O clone Aupaba apresentou maior teor

de cafeína (16,42 mg g^{-1}) quando comparado ao Yari (5,60 mg g^{-1}). Para os demais compostos não houve variações entre os clones.

Tabela 1. Quantificação de compostos bioativos para os clones de erva-mate Yari e Aupaba

	COMPOSTO BIOATIVO							
CLONE	Teobromina	Cafeína	3 cafeoilquínico	4 cafeoilquínico	5 cafeoilquínico	3,4 dicafeoilquínico	3,5 dicafeoilquínico	4,5 dicafeoilquínico
	mg g^{-1}							
Yari	7,05a	5,60b	50,49a	52,30a	86,82a	18,38a	51,90a	27,10a
Aupaba	2,57b	16,42a	61,69a	52,14a	96,02a	18,54a	65,21a	28,38a

*Letras iguais na coluna não diferem entre si - Anova 5%. Fonte: O autor (2024).

A não variação dos teores dos compostos bioativos com incremento de adubação nitrogenada diferem dos valores encontrados por Tomasi *et al.* (2024) em seus estudos com clones EC22 e EC40. Esses autores observaram incremento dos compostos mediante aumento de N em ambiente protegido. Essa diferença pode ser justificada pela variação genética entre os clones e pelo ambiente de produção utilizado, uma vez que os clones EC22 e EC40 são produzidos via sistema CEVAD estufas, com grande aptidão para a produção de compostos bioativos, com fornecimento adequado de água e nutrientes (Aguiar *et al.,* 2023). Aguiar *et al.* (2024) observaram em seus experimentos que os teores de cafeína tendem a reduzir somente com o aumento do sombreamento no erval.

CONCLUSÃO

A concentração de compostos bioativos varia entre clones, mas não é influenciada pela adubação nitrogenada.

AGRADECIMENTOS

Ao proprietário Márcio Olsen Pizzato (Fazenda Água Viva), pela concessão das áreas para instalação e manutenção dos experimentos e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo fomendo do projeto “Cadeira Produtiva da Erva-Mate: erva-mate descafeinada e cafeína natural” (Chamada Pública MCTI/FINEP/FNDCT/CT-AGRO, Programa Cadeias Produtivas da Bioeconomia MCTI Fomento à ICT – 01/2022).

BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, N.S.; GABIRA, M.M.; DUARTE, M.M.; TOMASI, J.C.; HANSEL, F.A.; LAVORANTI, O.J.; DESCHAMPS, C.; HELM, C.V.; WENDLING, I. How shading levels affect bioactive compounds in leaves of yerba mate clones. Biochemical Systematics and Ecology, volume 113, Abril/2024. DOI: 104796.

AGUIAR, N. S.; TOMASI, J. C.; VIEIRA, L. L.; DUARTE, M. M.; GABIRA, M. M.; WENDLING, I. CEVAD estufa: cultivo de erva-mate em alta densidade em estufa. Comunicado Técnico 485 – Embrapa Florestas, 2023.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L., SENTELHAS, P., C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Koppen’s Climate Classification Map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22 (6), 711-728, 2013.

ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Biosynthesis and metabolism of caffeine and related purine alkaloids in plants. Advances in Botanical Research, v. 30, p. 117-205, 1999.

DARTORA, N.; DE SOUZA, L. M.; SANTANA-FILHO, A. P.; IACOMINI, M.; VALDUGA, A. T.; GORIN, P. a. J.; SASSAKI, G. L. UPLC-PDA–MS evaluation of bioactive compounds from leaves of *Ilex paraguariensis* with different growth conditions, treatments and ageing. Food Chemistry, v. 129, n. 4, p. 1453–1461, dez. 2011.

DEDECEK, R. A.; RODIGHERI, H. R. Sistemas de preparo do solo em cultivos anuais intercalados em erva-mate. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 38, p. 77-88, jan./jun. 1999.

REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; ROCHA, H.O.; HILDEBRAND, E.E. Avaliação das exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate. In: X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1985, Curitiba. Anais..., Curitiba: 1985, p. 128-139.

SCHERER, R.; URFER, P.; MAYOL, M.R.; BELINGHERI, L.D.; MARX,F.; JANSSENS, M.J.J. Inheritance studies of caffeine and theobromine content of Mate (*Ilex paraguariensis*) in Misiones, Argentina. Euphytica, [S. l.], v. 126, n. 2, p. 203– 210, 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1023/A:1016375012471

SILVA, C. H. B. da. Influência da idade das folhas e da luminosidade nos teores de metilxantinas, ácido clorogênio, fenólicos totais e na atividade de captação de radicais livres de extratos aquosos de *Ilex paraguariensis* A. St. Hilaire. 2012. 92p. Dissertação (Mestrado em Farmácia) - Universidade Federal de Santa Cararina, Florianópolis, 2012.

TOMASI, J.C.; AGUIAR, N.S.; DUARTE, M.M.; GABIRA, M.M.; VIEIRA, L.M.; PAULETTI, V.; FRANCISCON, L.; HELM, C.V.; DESCHAMPS, C.; WENDLING, I. Bioactive compound production in Yerba Mate clones with increasing nitrogen in semi-hydroponic system. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. Agosto, 2024. Volume 24. DOI: 10.1007/S42729-024-01953-0.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant Physiology, Sunderland: Sinauer Associates Inc, 2013.

VERMA, N.; SHUKLA, S. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, v. 2, n. 4, p. 105–113, 2015.

WOŹNIAK, D.; NAWROT-HADZIK, I.; KOZLOWSKA, W.; SLUSARCZYK, S.; MATKOWSKI, A. Caffeoylquinic acids. Handbook of Dietary Phytochemicals, in Handbook of dietary phutochemicals, p. 1–40, 2020.

YANG, L.; KUI-SHAN, W.; XIAO, R.; YING-XIAN, Z.; WEI, F.; WANG, Q. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. Molecules, MDPI – Molecules, 2018.

YIN, Y.; KATAHIRA, R.; ASHIHARA, H. Metabolism of purine alkaloids and xnathine in leaves of mate (*Ilex paraguariensis*). Natural Product Communications, v.10, n.5, p. 707-712, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUÇÃO DE ERVA-MATE SUBMETIDA À ADUBAÇÃO NITROGENADA

Vinícius Charnecki Galvão[1*], Volnei Pauletti[2], Ivar Wendling[3], Marcia Toffani Simão Soares[4], Delmar Santin[5]

[1] Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Ciência Do Solo, Universidade Federal do Paraná - UFPR. *vinicius_charneck@hotmail.com; [2] Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Universidade Federal do Paraná – UFPR; [3] Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Florestais, Embrapa Florestas; [4] Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia, Embrapa Florestas; [5] Engenheiro Florestal, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas.

RESUMO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil) é uma espécie nativa da América do Sul. Sua produção acontece de diversos modos e a adubação nitrogenada pode contribuir com o aumento da produtividade dos ervais. O objetivo deste trabalho foi definir a dose de nitrogênio (N) que proporcione a maior produtividade de dois diferentes clones de erva-mate. O presente trabalho foi realizado com folhas e galhos finos de um experimento implantado em 2018 no município de General Carneiro-PR. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com os tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas. Foram utilizadas cinco doses anuais de N (0, 20, 40, 60 e 80 g de N planta^{-1} ano^{-1}) aplicadas em dois clones de erva-mate (Yari e Aupaba). O clone Yari produziu mais matéria seca e fresca (12.634 kg ha^{-1} e 5.186 kg ha^{-1}, respectivamente), quando comparado ao Aupaba (10.261 kg ha^{-1} e 3.658 kg ha^{-1}). A produção de massa fresca comercial não foi afetada pela adubação nitrogenada no clone Aupaba, e foi máxima no clone Yari com a aplicação de 60 g de N ^{1} planta^{-1} ano^{-1} (133 kg ha^{-1}). A produção de massa seca aumentou para ambos os clones, com maiores produtividades em doses próximas a 60 g de N planta^{-1}ano^{-1} (133 kg ha^{-1}). Conclui-se que a adubação nitrogenada aumenta a produtividade de erva-mate comercial em doses de máximas próximas a 133 kg ha^{-1}.

PALAVRAS-CHAVE: *Ilex paraguariensis*; adubação nitrogenada; produtividade.

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil) é uma espécie nativa da América do Sul, mais especificamente na região subtropical, possuindo grande importância econômica para o Brasil, Paraguai e Argentina, sendo estes os principais países produtores (Embrapa, 2010). A espécie pode ser cultivada de diferentes modos, como a pleno sol (onde o erval recebe uma maior incidência de radiação solar) ou cultivo sombreado (onde há outras espécies no local, produzindo uma menor incidência da radiação solar sobre as plantas) (Serafim, 2013). O consumo do mate se dá principalmente na forma de infusões como chimarrão, chá e tereré.

Dentro de um erval comercial sem adubação, a produtividade diminui com o passar dos anos, logo é extremamente importante realizar um correto manejo nutricional, afim de repor os nutrientes exportados com as colheitas. Assim como para a maioria das espécies, o nutriente mais demandado pela erva-mate é o nitrogênio (N) (NEPAR, 2019; Malavolta, 1980) e o mais exportado. Na planta, as funções deste nutriente estão relacionadas com o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo constituinte de clorofila, proteínas, enzimas e estruturas.

A erva-mate por ser uma cultura perene, demanda experimentos de longo prazo para obtenção de resultados a campo. Embora o Brasil seja o maior produtor de erva-mate, ainda há uma carência de estudos relacionados à correta e exigida recomendação de adubação nitrogenada voltada para a maior produção do erval. Nesse cenário, o objetivo deste trabalho foi definir a dose de N que proporcione maior produtividade em dois diferentes clones de erva-mate (Yari e Aubapa) em experimento de longo prazo

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado por meio de um experimento implantado em agosto de 2018, em General Carneiro – PR, onde no momento da colheita as plantas estavam com 6 anos. O experimento está localizado nas seguintes coordenadas: -26º25´57.54" S, 51º 23´27.62 O, a 1172 metros de altitude. O clima da região é classificado como Cfb (Alvares *et al*., 2013).

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, combinando cinco doses de N aplicadas em dois clones de erva-mate, distribuídos a campo em parcelas subdivididas, com quatro repetições. O espaçamento entre linhas de plantio foi de 3m e entre plantas na linha de 1,5m, totalizando 2.222 plantas por hectare. Cada parcela foi composta por seis linhas, sendo as duas externas consideradas bordaduras e as quatro internas, duas de cada clone, as úteis. Cada linha contém cinco plantas, sendo as duas externas no início e final da linha as bordaduras.

Nas parcelas foram aplicadas doses anuais de nitrogênio (0, 20, 40, 60 e 80 g de N planta^{-1} ano^{-1}) desde 2022, e nas sub-parcelas os dois clones de erva-mate (BRS BLD Yari e BRS BLD Aupaba). A fonte de N utilizada foi a ureia, contendo 45% de N. As adubações anuais foram realizadas em superfície, na projeção da copa, com as doses divididas e aplicadas em janeiro e agosto.

Na colheita realizada em agosto de 2024 foram determinadas a produtividade de massa fresca e seca de erva-mate comercial (folhas e galhos finos – diâmetro menor que 7 mm). Para determinação da massa fresca todo material colhido em cada parcela foi pesada e posteriormente retirada uma amostra, colocada em saco de papel, pesada e levada ao laboratório para ser secagem. Após a secagem das amostras em estufa até peso constante, foi determinado a massa seca.

O teor de nitrogênio (N) foi analisado para avaliar o estado nutricional da planta para este nutriente. Para isso, foram coletadas 30 folhas por planta da área útil da parcela, seguindo a recomendação do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR, 2019). Para a determinação do teor de N foi utilizado o método de destilação de Kjeldahl, segundo o manual de análises químicas (Silva, 2009). Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro Wilk e posteriormente analisados por regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve um aumento quadrático da produção de massa fresca de erva-mate comercial com o aumento da dose de N para o clone Yari (Gráfico 01), com máxima produção na dose de 57,2 g N planta^{-1} ano^{-1} (aproximadamente 127 kg N ha^{-1} ano^{-1}). Este resultado converge com os de Gabira (2022), que observou em seus estudos maiores produtividades de erva-mate com maiores doses de N, ultrapassando 200% do recomendado para a cultura em cultivo adensado. Para o clone Aupaba não houve variação da produtividade com o aumento das doses aplicadas. A ausência de resposta do clone Aupaba pode estar relacionada com a menor produtividade deste clone e com o intervalo de colheita, uma vez que tempo mais longo entre colheitas tornam a planta mais responsiva ao nutriente (Santin e*t al.,* 2019). Segundo Santin et al. (2019) com intervalos maiores entre colheitas, também são obtidas maiores produções de massa fresca e seca nos ervais. Esta colheita em análise foi realizada com 18 meses de intervalo em relação à colheita anterior, e a produtividade média de erva-mate comercial do clone Yari foi de 12.634 kg ha^{-1}, 23% maior que a do clone Aupaba (10.261 kg ha^{-1}).

A menor produção do clone Aupaba pode ser atribuída também ao fator genético, como citado em comunicado técnico de lançamento dos clones por Wendling *et al.* (2017), que demonstrou uma produtividade máxima potencial em condições ideais de cultivo menor para Aupaba (15 t ha^{-1}) quando comparado à Yari (25 t ha^{-1}).

A produção de massa seca da erva-mate comercial, importante para a indústria ervateira, também aumentou com o aumento da dose de N nos dois clones (GRÁFICO 02). Neste caso, novamente o clone Yari

apresentou maior produtividade em massa seca (5.186 kg ha^{-1}) quando comparado ao clone Aupaba (3.658 kg ha^{-1}), confirmando novamente o menor potencial produtivo deste clone (Wendling *et al.,* 2017). A dose de máxima produção de massa seca para o clone Yari foi na dose de 57,4 g N planta^{-1} (aproximadamente 127 kg N ha^{-1}), e para o clone Aupaba foi de 54,7 g N planta^{-1} (aproximadamente 122 kg N ha^{-1}).

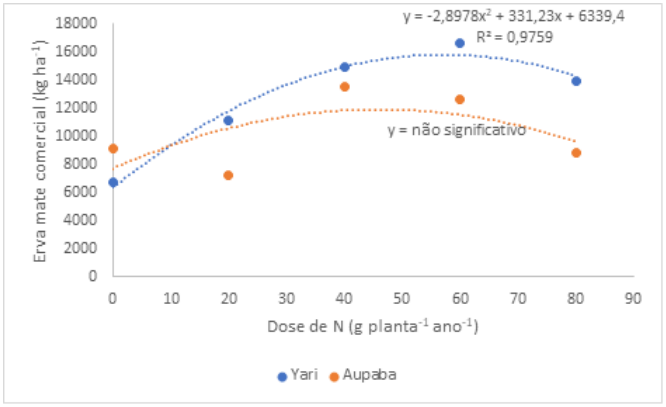


Figura 1. Produtividade de massa fresca de erva-mate comercial (folhas + galhos finos) em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas nos clones Yari e Aupaba. Fonte: O autor (2024).

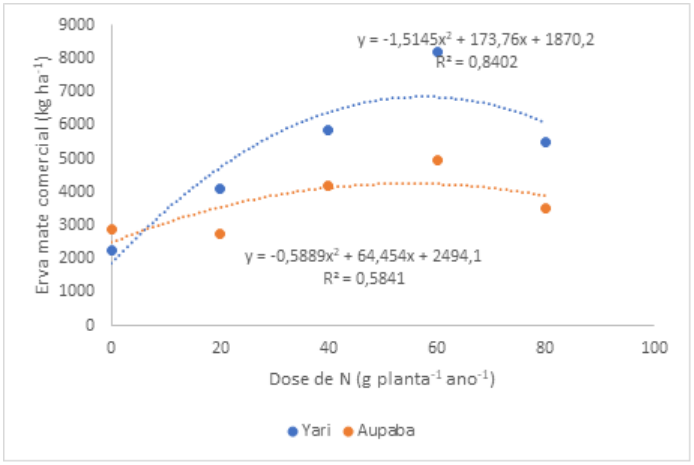


Figura 2. Produtividade de massa seca de erva-mate comercial (folhas + galhos finos) em função de diferentes doses de nitrogênio aplicadas nos clones Yari e Aupaba. Fonte: O autor (2024).

Os valores médios de teor de N foliar foram de 25,4 g kg^{-1} para Yari e 29,8 g kg^{-1} para Aupaba. Valores que estão de acordo com a caracterização nutricional em diferentes localidades do Paraná em 16 cultivos de erva-mate, realizados por Reissman *et al.* (1999) onde esse teor pode variar entre 15 e 36,6 g kg^{-1}, em função do solo, idade da planta e época do ano da coleta. O teor de N também é considerado adequado, de acordo com os valores presentes no Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná (NEPAR, 2019) variando entre 24 e 36 g kg^{-1}. O aumento nas doses de adubação nitrogenada não afetou o teor de N nas folhas.

CONCLUSÕES

Os clones de erva-mate variam quanto a resposta a adubação nitrogenada, sendo o clone Yari mais responsivo à aplicação de N que o clone Aupaba, com a máxima produtividade obtida com aproximadamente 127 kg N ha^{-1}ano^{-1}. O clone Yari foi mais produtivo que o Aupaba.

AGRADECIMENTOS

Ao proprietário Márcio Olsen Pizzato (Fazenda Água Viva), pela concessão das áreas para instalação e manutenção dos experimentos e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo fomento do projeto "Cadeira Produtiva da Erva-Mate: erva-mate descafeinada e cafeína natural" (Chamada Pública MCTI/FINEP/FNDCT/CT-AGRO, Programa Cadeias Produtivas da Bioeconomia MCTI Fomento à ICT – 01/2022).

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L., SENTELHAS, P., C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G., 2013: Koppen's Climate Classification Map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22 (6), 711-728.

GABIRA, M. M. *Ilex paraguariensis* Silviculture: Nutrition and planting density in a new cultivation system. Curitiba: UFPR, 2022. 83p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 215p.

NEPAR – Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná, 2019.

REISSMANN, C. B; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. Under different management conditions in seven localities of Paraná State. Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, v. 42, p. 187-194, 1999.

SANTIN, D..; BENEDETTI, E. L.; BARROS, N. F.; ALMEIDA, I. C.; SIMIQUELI, G. F.; NEVES, J. C. L.; WENDLING, I.; REISSMANN, C.B. Adubação nitrogenada e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo. p. 10-16, 2 out. 2019. DOI https://doi.org/10.5902/1980509810843. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cflo/a/XX5RV7MFSb55sbfPfCYbgZR/?format=html

SERAFIM, R. A. Quantificação de compostos fenólicos e avaliação da ação antioxidante de extratos aquosos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*). 2013. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, p.627. 2009.

WENDLING, I.; SANTIN, D.; NAGAOKA, R.; STURION, J. A. BRS BLD Aupaba e BRS BLD Yari: cultivares clonais de erva-mate para produção de massa foliar de sabor suave. Colombo, Paraná: Embrapa Florestas, 2017. Comunicado Técnico 411. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/169725/1/CT-411-1496-final.pdf.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADUBAÇÃO NITROGENADA E O PLANTIO ADENSADO AFETAM A PRODUÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS NA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.)

Jeizi Kelli Cerutti Candeu[1*], Volnei Pauletti[2], Manoela Mendes Duarte[3], Ivar Wendling[4], Kaline Aparecida Wagner[5]

[1,] Estudante de Mestrado em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil. *jeizi.kelli@gmail.com; [2] Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil; [3] Pós Doutoranda UFPR - Embrapa Floresta – Colombo – PR, Brasil; [4] Pesquisador Embrapa Floresta – Colombo – PR, Brasil; [5] Estudante de Doutorado em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil.

RESUMO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é amplamente cultivada e consumida na América do Sul, e a crescente demanda exige técnicas de manejo que aumentem a produtividade sem comprometer sua qualidade fitoquímica. Este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos do plantio adensado e da adubação nitrogenada nas características fitoquímicas das folhas de erva-mate. O experimento foi conduzido em General Carneiro, PR, seguindo um delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas. Nas parcelas foram testadas cinco doses de N (0, 50, 100, 200 e 300% do recomentado para a cultura) e nas subparcelas três densidades de plantas (8.929, 13.333, 27.027 plantas ha^{-1}). A produtividade foi estimada pela massa seca de folhas e galhos finos (kg ha^{-1}) e a característica fitoquímica foi determinada pelos teores de compostos fenólicos totais, cafeína e teobromina, via extrato aquoso, analisados por espectrofotometria UV e HPLC. Não houve interação entre as doses de nitrogênio e os teores de compostos fenólicos. A maior produção de massa seca foi observada com a aplicação de 50% da dose recomendada de nitrogênio. Conclui-se que a adubação nitrogenada não alterou os compostos bioativos da erva mate.

PALAVRAS-CHAVE: fertilidade; cafeína; teobromina; alta população de plantas.

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.*)* é uma espécie nativa da América do Sul, cultivada principalmente no Brasil, Paraguai e Argentina, com os estados do Sul do Brasil se destacando na produção e consumo (Resende *et al*., 2019). Nos últimos anos, a demanda pelo produto tem aumentado devido ao seu valor econômico e avanços tecnológicos no setor (Junkeira *et al*., 2017). No entanto, a sustentabilidade da produção ainda representa um desafio, exigindo estratégias que conciliem produtividade e qualidade (Wendling & Santin, 2015).

A erva-mate se adaptou a solos intemperizados de baixa fertilidade e pH ácido (Carvalho, 2003). No entanto, a exploração intensiva, sem reposição adequada de nutrientes, tem causado queda na produtividade (Santin *et al*., 2019), especialmente devido à falta de adubação (Benedetti *et al*., 2020). Muitos produtores ainda extraem folhas e galhos de plantas nativas sem a aplicação de fertilizantes, resistindo à adoção de novas práticas de cultivo que poderiam aumentar a produtividade e qualidade do produto final (Bergamin, 2024). Nesse contexto, o adensamento de plantas surge como uma alternativa promissora para otimizar o uso da terra e melhorar a produção (Gabira *et al*., 2023).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento vegetal, influenciando diretamente a atividade fotossintética e a acumulação de biomassa (Taiz *et al*., 2017). Na erva-mate, onde o principal produto comercializado são as folhas e ramos finos, a remoção contínua de nutrientes do solo, especialmente o nitrogênio, pode comprometer a produtividade (Lourenço *et al*., 2000).

A composição fitoquímica da erva-mate inclui diversos compostos bioativos como polifenóis, flavonoides e ácidos fenólicos, que apresentam propriedades antioxidantes e antimicrobianas (Bracesco *et al*., 2011; Khan

et al., 2018). Estudos indicam que a adubação com nitrogênio pode aumentar a produção de polifenóis, flavonoides e especialmente as metilxantinas (Tomasi *et al*., 2024); o aumento população de plantas pode aumentar produtividade, porém sempre visando um manejo adequado para ter equilíbrio entre produtividade e qualidade (Goulart *et al*., 2022).

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio e do plantio adensado na produtividade e composição fitoquímica de folhas de erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de General Carneiro, Paraná, Brasil (26°18'30"S, 51°18'00"W), a uma altitude de aproximadamente 1.100 m. O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háplico, apresentando textura argilosa. O clima da região é classificado como Cfb, conforme a classificação climática de Köppen. Durante o período experimental (2018-2024), os dados meteorológicos foram monitorados por uma estação próxima, registrando temperatura média anual de 16°C e precipitação média de 1.800 mm anuais.

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, contendo quatro repetições. O fator principal correspondeu a cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 200 e 300% da dose recomendada para a cultura, conforme analise de solo) e fator secundário foi a densidade de plantas com 8.929, 13.333, 27.027 plantas ha^{-1} de erva-mate. O plantio foi realizado em 2018, sem de preparo do solo e adubação inicial com P e K na cova de plantio conforme análise de solo.

As parcelas foram compostas por fileiras duplas de erva-mate, com espaçamento de 0,80 m entre as fileiras e 2,20 m entre fileiras duplas. Cada fileira contém 18 plantas, sendo avaliadas as quatro centrais para evitar o efeito de bordadura.

Para as avaliações de produtividade foram determinadas a biomassa fresca, pesada logo após a coleta, e a biomassa seca de folhas e galhos finos (até 7mm de diâmetro), colhidas no mês de novembro de 2025, três meses após poda anterior, as mesmas foram secas em estufa de ventilação forçada e pesadas em balança de precisão. Para determinação dos compostos bioativos, amostras de folhas de cada tratamento foram secas em micro-ondas, trituradas e posteriormente utilizadas para preparo dos extratos. Os compostos fenólicos foram analisados pelo método de Folin-Ciocalteu, utilizando espectrofotometria a 720 nm, conforme Singleton & Rossi (1965). As metilxantinas cafeína e a teobromina foram extraídas por banho-maria em solvente orgânico e quantificadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), seguindo metodologia de Fujioka & Shibamoto (2006).

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou que não houve interação entre os fatores doses de nitrogênio e densidade de plantas. Com relação aos compostos bioativos, adubação nitrogenada não influenciou nos teores de cafeína e teobromina (Figura 1). Esses resultados sugerem que a cafeína e a teobromina são compostos relativamente estáveis na erva-mate, podendo ser mais influenciados ambientais do que pelo suprimento de nitrogênio (Dutrénit *et al*., 2021). Além disso, fatores como a idade das folhas podem ter influencia significativa nestes teores (Tomasi *et al*., 2024).

Estudos anteriores, como o de Ferreira *et al*. (2016), relataram concentrações mais elevadas desses compostos em condições semelhantes, o que pode estar relacionado a diferenças no manejo da cultura, nas condições ambientais ou no material genético utilizado. Além disso, variações no tempo de colheita e no

estádio fenológico das plantas podem influenciar a síntese e o acúmulo desses metabólitos secundários (Dutrénit *et al*., 2021).

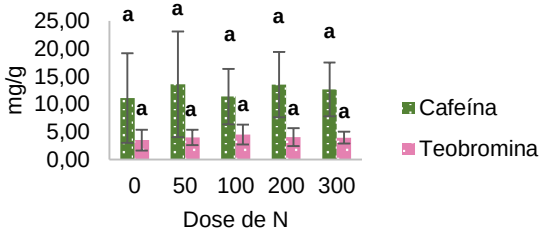


Figura 1. Teores de cafeína e teobromina nas folhas de erva-mate comercial em função da quantidade de nitrogênio aplicada na adubação, em General Carneiro - PR.

A aplicação de 50% de N ha^{-1} resultou na maior produtividade, 1.325 kg ha^{-1}, diferindo significativamente apenas do tratamento onde não houve aplicação de nitrogênio (0 kg ha^{-1}), que apresentou produção de 935 kg ha^{-1}(Figura 2). Essas produtividades são inferiores aos relatados por Santin *et al*. (2019), que obtiveram produtividades de 2,8, 6,1 e 8,3 T ha^{-1}, com colheitas realizadas a cada 12, 18 e 24 meses respectivamente, em erval com 9 anos de idade e densidade populacional de 2.500 plantas ha^{-1}.

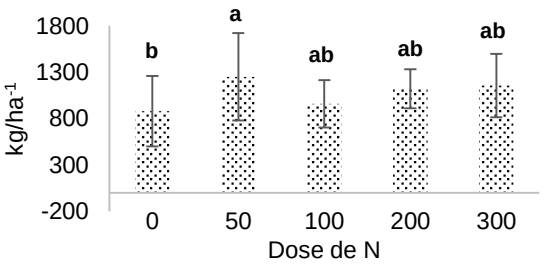


Figura 2. Produtividade de massa seca de erva-mate em função da dose de nitrogênio aplicada na adubação.

Esses resultados indicam que a aplicação de nitrogênio influenciou a produção de biomassa da erva-mate, porém a dose de 50% da recomendação indicada no Manual de adubação regional (NEPAR, 2019), foi mais eficaz, (utilizando 22 g. planta^{-1} ano^{-1}) indicando maior eficiência do uso do nutriente nessa condição.

O aumento da densidade populacional para 27.027 plantas ha^{-1} reduziu significativamente a produtividade da erva-mate (850 kg/ha^{-1}), essa redução pode estar relacionada à competição entre plantas por recursos como luz, água e nutrientes, limitando seu crescimento e desenvolvimento (Wendling e Santin, 2015). Enquanto as menores populações, 8.929 e 13.333 plantas ha^{-1}, apresentaram produtividades superiores e estatisticamente semelhantes, com valores próximos de 1.100 kg/ha^{-1}, os valores observados foram inferiores aos reportados por Gabira *et al*. (2023), que registraram 9,60 t ha^{-1} ano^{-1} no quarto ano de cultivo, com adubação nitrogenada 300% superior.

Não houve diferença estatística significativa entre as populações de plantas quanto aos teores de cafeína e teobromina. Indicando que o aumento da densidade populacional não influenciou a concentração desses compostos bioativos nas folhas, ao contrário dos resultados encontrados por Tomasi et at., (2024) onde o aumento da concentração de nitrogênio aumentou os teores de cafeína e teobromina.

CONCLUSÕES

O adensamento e a adubação nitrogenada não influenciaram nas características fitoquímicas das folhas de erva-mate;

A aplicação de 50% da dose recomendada de nitrogênio aumentou a produtividade de folhas e galhos finos de erva-mate.

AGRADECIMENTOS

À UFPR, a Capes, Embrapa Florestas, Fazenda Água Viva e ao Pesquisador Delmar Santin.

BIBLIOGRAFIA

BRACESCO, N., SÁNCHEZ, A. G., & PICOLLO, M. I. (2011). Atividade antioxidante de extratos de erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.). Journal of Food Science, 76(2), S248-S253.

BERGAMIM, M. Novo sistema de cultivo de erva-mate pode aumentar a produtividade em até 160% nos primeiros anos. EMBRAPA. Disponível em: https://www.embrapa.br/noticia/80039244/novo-sistema-de-cultivo-de-erva-mate-pode-aumentar-a-produtividade. Acesso em: 21 jun. 2024.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa v. 1, n.3, p. 86-101, 2003.

DUTRÉNIT, G., NATERA, J. M., TORRES, A., SAMPEDRO, J. L., SUÁREZ, D., MATTOS, M., BIANCHI, C., OROZCO, J., HAUSSMANN, J. M., & MILIA, M. F. (2021). *Los estudios CTS y de la innovación en América Latina: temas, abordajes y desafíos*. Memorias del Primer Congreso ESOCITE-LALICS 2021, 6(3), Jul-Sep. https://doi.org/2594-0937

GABIRA, M. M., AGUIAR, N. S., DUARTE, M. M., VIEIRA, L. M., TOMASI, J. C., MAGGIONI, R. A., & WENDLING, I. CEVAD campo: cultivo de erva-mate em alta densidade no campo. Colombo, PR. 2023. Embrapa, Comunicado Técnico 486.

GOULART, I. C. G. dos; SANTIN, D.; BRASILEIRO, B. P. Fatores que afetam a produtividade na cultura da erva-mate. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 1345-1367, 2022.

JUNKEIRA, A. A.; BASSO, V.M.; SOUZA, N.D. Evolução da extração vegetal de erva-mate no período de 2004 a 2015. *In:* I Semana de Aperfeiçoamento em Engenharia Florestal, 2017, Curitiba. Anais[...] Curitiba, 2017. p.306-310.

KHAN, N., AFAQ, F., & MUKHTAR, H. (2018). Quimio-prevenção do câncer por antioxidantes dietéticos: uma atualização. Journal of Nutrition and Cancer, 70(2), 161-175.

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. G.; MEDRADO, M. J. S. Avaliação de níveis de nitrogênio sobre a produção de erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.) em Fernandes Pinheiro, PR, em latossolo vermelho escuro. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 34, p. 75-98, jan./jun. 1997.

Santin, D., Benedetti, E. L., Barros, N. F. de, Almeida, I. C. de, Simiqueli, G. F., Neves, J. C. L., Wendling, I., & Reissmann, C. B. (2019). Adubação nitrogenada e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo. Ciencia Florestal, 29(3), 1199–1214.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 5. ed. Sinauer Associates, 2010.

Tomasi, J., de Aguiar, N.S., Duarte, M.M. *et al*. Bioactive Compound Production in Yerba Mate Clones with Increasing Nitrogen in Semi-Hydroponic System. J Soil Sci Plant Nutr 24, 5961–5971 (2024). https://doi.org/10.1007/s42729-024-01953-0

WENDLING, I.; SANTIN, D. Propagação e nutrição de erva-mate. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 195 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE ERVA-MATE NA REGIÃO GEOGRÁFICA IMEDIATA DE ERECHIM, SUL DO BRASIL

Beatriz Negoseke Lada[1*], Thais Saidel Schultz Andretta Lima[2], Marcos Silveira Wrege[3] e Marcia Toffani Simão Soares[3]

[1, 2,] Estudantes de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
[3] Pesquisadores da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar a tendência e mudanças na produção de *Ilex paraguariensis*, entre 1996 e 2023, nos municípios da Região Geográfica Imediata de Erechim, norte do Rio Grande do Sul. Dados anuais da quantidade de erva-mate produzida (kg ha^{-1}) e área destinada à colheita (ha ano^{-1}), com base na pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM), foram obtidos na base de dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática e submetidas ao teste não paramétrico de Mann-Kendall. Observou-se uma tendência ao aumento do rendimento anual da erva-mate em 75,9% dos municípios, enquanto a área destinada à colheita apresentou retração em 79,3% das localidades. Os resultados apontam para tendências temporais semelhantes na produção de erva-mate em municípios com significativas desigualdades fisiográficas e socioeconômicas, que devem ser levadas em consideração no planejamento do uso do solo e difusão tecnológica na região.

PALAVRAS-CHAVE: *Ilex paraguariensis;* mudança no uso da terra; silvicultura; tendência; Rio Grande do Sul.

INTRODUÇÃO

Com a intensificação dos meios de produção e maior atratividade econômica de *commodities,* como a soja, tem-se observado nas diferentes fitofisionomias do Rio Grande do Sul uma intensa transformação da paisagem rural (Balsan, 2006; Silveira *et al*., 2017), cujos impactos nos sistemas de produção e culturas tradicionais como a erva-mate (*Ilex paraguariensis)* (Severo e Siqueira, 2023) ainda carecem de maior compreensão. Em atendimento a essa demanda, o presente estudo objetivou analisar a tendência temporal do rendimento médio (kg ha^{-1}) e área destinada à colheita (ha ano^{-1}) de erva-mate, entre 1996 e 2023, cultivada nos municípios componentes da Região Geográfica Imediata de Erechim, norte do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

A Região Geográfica Imediata de Erechim (Figura 1) está localizada na região norte do Rio Grande do Sul, na bacia do rio Uruguai. Está inserida nos domínios da Mata Atlântica, em uma porção com alto grau de fragmentação da vegetação em relação à cobertura original (Rio Grande do Sul, 2019). As variações de altitude situam-se entre 300 e 700 metros, intensamente entalhadas pela rede de drenagem do Rio Uruguai (Dantas *et al*., 2010; Kozenieski, 2016). Os solos são originados de rochas basálticas e ocupam um relevo ondulado a forte ondulado, onde ocorrem Neossolos Litólicos ou Regolíticos Eutróficos, Chernossolos Argilúvicos Férricos e Cambissolos Háplicos Eutróficos. Nas áreas de relevo suave ondulado ocorrem Latossolos Vermelhos Distroférricos e Eutroférricos, além de Nitossolos Brunos e Vermelhos Distroférricos (Streck *et al*., 2018; Flores e Schneider, 2018). As temperaturas do ar apresentam-se com grande variação sazonal, variando entre 15 e 18°C, com mínimas e máximas absolutas de até -10°C e 40°C, respectivamente, e precipitação acumulada anual entre 1.500 mm e 1.800 mm (Rio Grande do Sul, 2024).

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

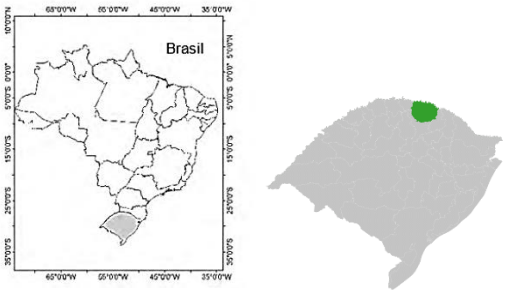


Figura 1. Estado do Rio Grande do Sul, com o limite geopolítico do Conselho Regional de Desenvolvimento Norte (Corede Norte) em verde. Fonte: os autores, 2025.

As informações geoespaciais dos municípios (latitude, longitude e altitude) foram compiladas da Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025) e também de valores reunidos em Wrege; Fritzsons (2015). Os dados municipais referentes à área anual destinada à colheita (ha) e o rendimento médio anual (kg ha^{-1}) da erva-mate cultivada entre 1996 a 2023 foram obtidas na base de dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), oriundos dos dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) (IBGE, 2025). As variáveis foram organizadas em planilha Excel® e, posteriormente utilizadas para análise de tendência da série histórica, com uso do teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), conforme procedimentos adotados por Oliveira *et al*. (2023). As hipóteses adotadas foram H0 (hipótese nula): não há tendência nos dados; HA (hipótese alternativa): há tendência nos dados, que pode ser de aumento ou de diminuição, conforme o resultado da estatística S (valores positivos ou negativos, respectivamente). Adotou-se como evidência significativa de que os dados apresentam tendência para valores de p inferiores a 0,01, 0,05 ou entre 0,05 e 0,1. A análise foi realizada com o uso do *software* "R" e com a instalação do pacote "*trend*". Com os valores da análise de tendência e as coordenadas de cada município, foi possível gerar mapas de tendência temporal da área destinada à colheita e rendimento anual, em ambiente SIG QGIS 3.16.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tendência temporal às mudanças na produção de erva-mate em 29 municípios componentes da Região Geográfica Imediata de Erechim/RS, entre 1996 e 2023, está apresentada na Figura 2. Pelo teste de Mann-Kendall, verifica-se, no período, uma predominância no aumento do rendimento anual da erva-mate (Figura 2a), verificada em 75,9 % (22) dos municípios analisados. Destes, Itatiba do Sul e Barão de Cotegipe coincidem tendência a aumento de área destinada à colheita (Figura 2a) e rendimento (Figura 2b). Do grupo em que não se observou tendência a aumento do rendimento, a tendência temporal é nula nos municípios de Marcelino Ramos, Centenário e Estação, ao leste e sul, e de diminuição em Ipiranga do Sul, Erebango e Benjamin Constant do Sul.

Quanto à evolução da área destinada à colheita na região (Figura 2b), houve predomínio da tendência temporal à retração de áreas, observada em 79,3% (23) dos municípios avaliados. A região segue a tendência observada no Rio Grande do Sul, que, segundo o informativo Roda de Mate (2024), obteve a maior perda de área entre os quatro estados brasileiros produtores de erva-mate, em valores absolutos. Conforme o informativo, são possíveis causas da perda de área de plantio o aumento de custo de produção, de mão de obra e a competição com outros sistemas produtivos de alto rendimento. Importante observar que os municípios com tendências semelhantes ocupam espaços geográficos e socioeconômicos muito distintos entre si. Erebango, por exemplo, com tendência temporal à diminuição de área destinada à colheita e rendimento, está situada em um território com relevo mais suave, ocupado predominantemente por lavouras temporárias e estabelecimentos de maior porte em relação à Benjamin Constant do Sul, localizada

em uma região com topografia mais acidentada, estabelecimentos rurais menores (Kozenieski, 2016) e, sob o aspecto econômico, tem apresentado uma das menores rendas *per capita* do estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2020). Estudos futuros demandam a inclusão de fatores que expressam a ampla diversidade fisiográfica e socioeconômica da região, para a compreensão da dinâmica produtiva da erva-mate no norte do Rio Grande do Sul.

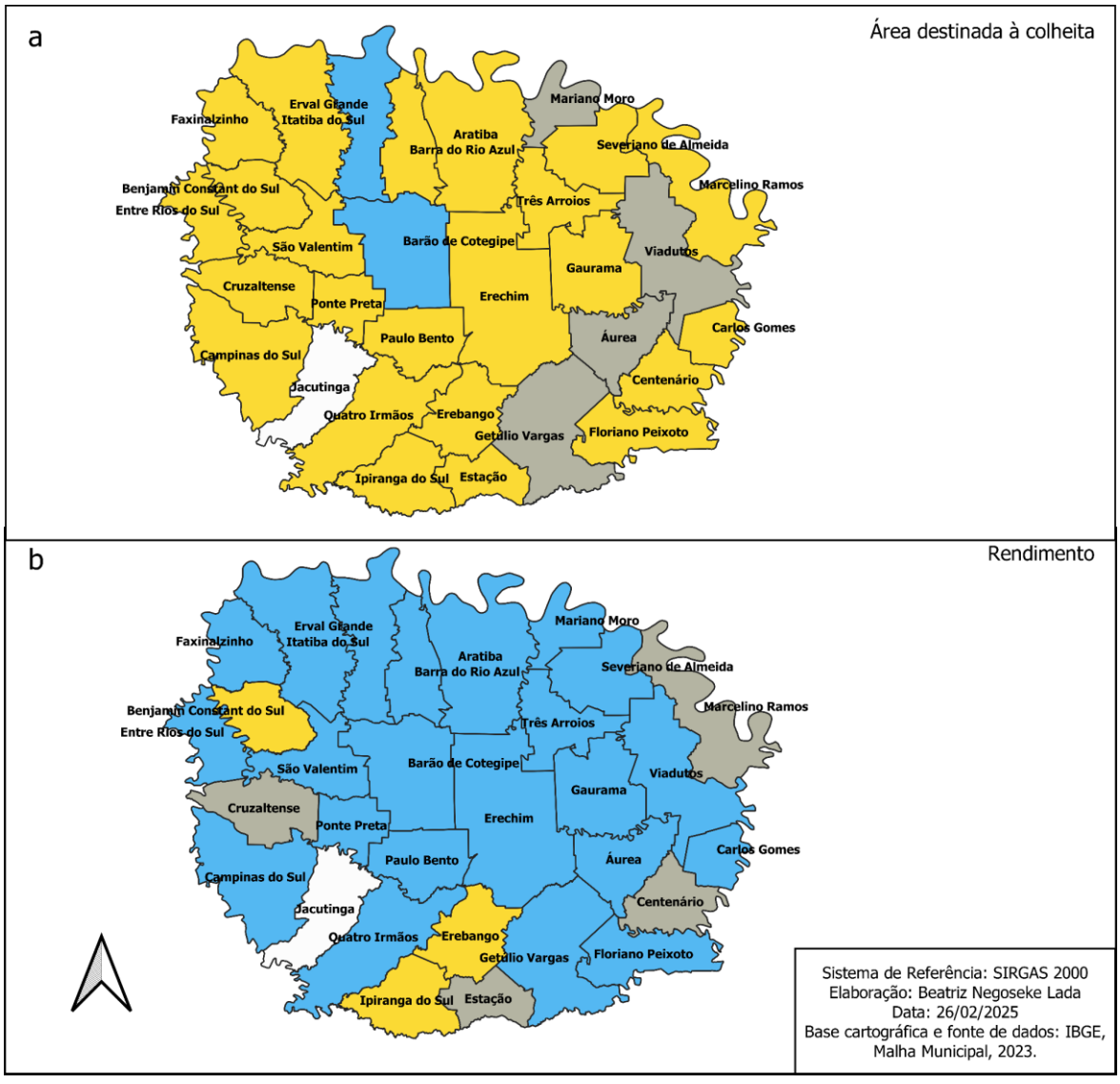


Figura 2. Tendências à mudanças temporais na área destinada à colheita (a, ha) e no rendimento (b, kg ha^{-1}) em vinte e nove municípios componentes da Região Geográfica Imediata de Erechim entre 1996 e 2023, obtidas pelo teste estatístico de Mann-Kendall.

CONCLUSÃO

Entre os anos de 1996 e 2023, o rendimento anual da erva-mate cultivada na Região Geográfica Imediata de Erechim aumentou em 75,9% dos municípios analisados, ao passo que o percentual de áreas destinadas à colheita da erva-mate diminuiu em mais de 79,3% dos municípios. Estudos futuros demandam

a inclusão de fatores que expressam a ampla diversidade fisiográfica e socioeconômica da região, que podem influenciar na variação temporal dos parâmetros de produção da cultura.

BIBLIOGRAFIA

DANTAS, M. E.; VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. Origem das paisagens do estado do Rio Grande do Sul. *In:* VIEIRO, A. C.; SILVA, D. R. A. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul.** CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Porto Alegre, 2010. Cap. 3. p. 35-50.

IBGE. **PIB MUNICÍPIOS RS.** 2020. Planilha Excel. Disponível em:<https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos//comparacao-desempenho-pib-municipios-rs-2019-2020-1.xlsx>. Acesso em: 26 fev. 2025.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Produção Agrícola - Lavoura Permanente.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 25 fev. 2025.

IBGE. **Malha Municipal.** 2023. Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 22 fev. 2025.

INFORMATIVO MENSAL RODA DE MATE do Rio Grande do Sul. ed. n°87. Fevereiro de 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202403/11092137-informativo-roda-de-mate-87-2024.pdf>. Acesso em: 20 fev 2025.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods.** 4th ed. London: Griffin, 1975.

KOZENIESKI, E. M. **A Produção do Espaço Rural: Transformações das Dinâmicas Produtivas e da Agricultura na Microrregião de Erechim.** 2016. 327 p. Tese (Doutor em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MANN, H. B. **Non-Parametric Test against Trend. Econometrica**, v.13, n.3, p. 245-259, 1945.

OLIVEIRA, N. Q.; SOARES, M. T. S.; KNOBLAUCH, M. B.; WREGE, M. S.; PAULETTI, V.; SANTIN, D.; MARIOTTO, P. H. M.; GOMES, J. B. V. **Mudanças na precipitação pluviométrica no norte do Rio Grande do Sul entre 1991 e 2020: município de Marcelino Ramos.** Colombo: Embrapa Florestas, 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional. **Perfil Socioeconômico COREDE Norte.** Porto Alegre, Novembro de 2015. Disponível em:<https://planejamento.rs.gov.br/upload/arquivos/201512/15134135-20151117103226perfis-regionais-2015-norte.pdf>. Acesso em: 19 fev 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2021. E-book. Disponível em:<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/edicao>. Acesso em: 25 fev. 2025.

SILVEIRA, V. C. P.; GONZÁLEZ, J. A.; FONSECA, E. L. **Land use changes after the period commodities rising price in the Rio Grande do Sul State, Brazil. Ciência Rural**, v. 47, n. 4, e20160647, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160647.

STRECK, E. V. *et al*. **Solos do Rio Grande do Sul.** 3. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. Disponível em: https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/SOLOS%203%20EDICAO.pdf. Acesso em: 22 fev. 2025.

SEVERO, M. V.; SIQUEIRA, J. V. B. **Cultura da erva mate e impactos da crescente produção de soja no Rio Grande do Sul. Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v.9, n.2, 2023. DOI: https://doi.org/10.5433/got.2023.v9.48861.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E. **Dados climáticos dos municípios da região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 439 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

NÍVEIS DE SOMBREAMENTO NO CULTIVO DA ERVA-MATE E SUA INFLUÊNCIA NA RELAÇÃO C/N DO SOLO

Vilmara Aparecida Santos da Costa[1*], José Carlos Romanchuk[1], Rodrigo Zientara[1], Delmar Santin[2], Eliziane Luiza Benedetti[3]

[1]Estudante de graduação Instituto Federal de Santa Catarina *vilmara.s04@aluno.ifsc.edu.br .
[2]Produtor e consultor. [3]Professora Instituto Federal de Santa Catarina.

RESUMO

A erva-mate apresenta grande potencial para serviços ambientais importantes, como o sequestro e a reciclagem de C e N no solo. Embora ocorra em ambientes sombreados, a erva-mate se adapta a condições de alta luminosidade. Esse estudo avaliou a relação C/N no solo em diferentes profundidades, sob diferentes níveis de sombra. As amostras foram coletadas em profundidade de (0-100 centímetros) em experimento de erva-mate em esquema fatorial 2x3 com dois clones e três níveis de sombra: (baixa, média e alta). Para as camadas 0-5, 5-10 e 20-30 cm, a sombra alta apresentou menor relação C/N. Nas profundidades de 10-20, 30-50 e 50-100 cm, os tratamentos de sombra baixa proporcionou um aumento na relação C/N. O nível de sombreamento influencia diretamente a relação C/N no solo.

PALAVRAS-CHAVE: *Ilex paraguariensis*; luz; solo.

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis)* é um dos principais produtos florestais não madeireiro na região Sul do Brasil, no qual, 80% da sua produção ocorre em propriedades familiares com até 20 hectares,sendo a mão de obra predominantemente familiar (Penteado Junior e Goulart, 2018). Além dos benefícios sociais e econômicos, a erva-mate apresenta grande potencial para serviços ambientais importantes, como o sequestro e a reciclagem de C e N no solo, graças à biomassa gerada durante o período de colheitas (Palacios, 2010), espécies de cobertura e de plantas nativas presentes em suas áreas.

Nas árvores o carbono (C) está ligado à formação de compostos orgânicos da biomassa e da fotossíntese. O nitrogênio (N) é encontrado em toda a planta e participa em alguns processos, como formação da proteína, regulação da fotossíntese, síntese de carboidratos e distribuição de C na planta (Vieira, 2023).

A erva-mate é adaptada a solos de baixa fertilidade, com baixas concentrações de cátions trocáveis, altos teores de alumínio e pH baixo (Carvalho, 2003). Essas características influenciam principalmente a relação C/N no solo, que pode variar conforme a produtividade e os manejos adotados.

A relação C/N no solo é um indicador essencial da qualidade do material orgânico e da disponibilidade de nutrientes. Solos com alta relação C/N apresentam decomposição mais lenta da matéria orgânica, diminuindo a liberação de N. Por outro lado, solos com baixa relação C/N promovem uma mineralização mais rápida, aumentando a disponibilidade de N. Essa relação é influenciada por vários fatores, dentre eles profundidade do solo e pelo sombreamento.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar a relação C/N em profundidade no solo cultivado com erva-mate em diferentes níveis de sombreamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em fevereiro de 2021 em Canoinhas-SC, Brasil, localizado no Planalto Norte Catarinense (26°20’21”S e 50°35’45”W), altitude de 808 m, sob clima temperado (Cfb) (Wrege, 2012). Com precipitação pluvial média anual entre 1600 a 1800 mm (EPAGRI, 2003).

Os tratamentos consistiram de três níveis de sombra, com quatro repetições. Para quantificar o sombreamento gerado por árvores remanescentes (predominantemente imbuia, canela, araucária e bracatinga) foram capturadas 12 fotografias digitais coloridas por tratamento, distribuídas equidistantes para representar melhor o ambiente. Utilizou-se uma câmera fotográfica digital Canon EOS 6D Full Frame, com lente olho de peixe de 8 mm, posicionada para o céu e orientada ao Norte magnético. As imagens foram processadas no software Gap Light Analyser versão 2.0 (Frazer *et al*., 1990). Determinaram-se três níveis de sombra: Baixo (abertura do dossel em 70 % - sombreamento de 30 %), Médio (abertura do dossel em 49 % - sombreamento de 51 %) e Alto (abertura dossel em 42 % - sombreamento de 58 %) (Santin *et al*. 2023). Os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos casualizados, com quatro repetições. Para evitar a interferência de sombra sobre tratamentos, manteve-se uma distância de 20 m entre os níveis de sombra.

Em agosto de 2024, 3 anos após a instalação do experimento, foi realizada a coleta de amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-100 cm. Em cada repetição realizou-se quatro amostragens. As amostras de solo foram secas ao ar, moídas finamente (0,1mm) para análise total de C e N, determinados por combustão seca, em analisador de CHNS (Nelson e Sommers, 1982), dos quais obteve-se a relação C/N.

Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade e normalidade, e aceitos seus pressupostos, foram submetidos à Anova e teste de Média (Tukey) utilizando o Software estatístico R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação C/N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo, atribuindo informação sobre o estado de humificação. Para a relação C/N em profundidade, a análise de variância demonstrou efeito significativo ($p<0,10$). Para as camadas superiores de 0-5, 5-10 e 20-30 centímetros, os tratamentos com sombra baixa e média não diferiram estatisticamente entre si, apresentando uma alta relação C/N. Nesse caso, a decomposição da matéria orgânica ocorre de forma mais lenta, devido a menor disponibilidade de N para este processo, em muitos casos acontece o fenômeno chamado de imobilização, em que, o nitrogênio inorgânico liberado no solo é absorvido pelos microrganismos e incorporado na sua biomassa, quando esta é reduzido, o nitrogênio, pode ser liberado novamente pela mineralização (Hutchison e Walworth, 2007). Por outro lado, a sombra alta apresentou médias inferiores quando comparadas ao demais tratamentos, em todas as profundidades (Figura 1).

Nas profundidades de 10-20 e 30-50 cm, o tratamento de sombra baixa proporcionou o aumento na relação C/N em comparação aos demais, Barbosa (2016) aponta que, resíduos que apresentam altos teores de polifenóis e lignina possuem menor taxa de decomposição e liberação lenta de nutrientes. Como a composição florística das espécies nativas desses ambientes é variada, afeta a qualidade dos resíduos. Ademais, em condições de maior exposição a luz solar a umidade do solo diminui, o que reduz a aeração e a atividade microbiana do solo, dificultando a mineralização da matéria orgânica proporcionando uma maior concentração de carbono quando comparado com o nitrogênio (Figura 1).

Na camada mais profunda 50-100 centímetros, nos níveis de sombra alta e média a relação C/N foi baixa, a fauna e flora disponíveis nesse sistema de sombreamento, exibem uma diversidade de espécies, muitas ainda não estudadas, que podem realizar interações simbióticas com bactérias e fungos, aumentando a disponibilidade de nitrogênio no solo, EMBRAPA (2022) destaca que, os sistemas que cultivam erva-mate sob sombra, de maneira geral, demonstraram uma atividade microbiana mais elevada. Isso possivelmente ocorre devido ao acréscimo de matéria orgânica proveniente da interação entre as árvores e a erva-mate. Vale salientar, que mesmo ocorrendo diferenças significativas entre os tratamentos, todos os valores na relação C/N estão abaixo de 20, condição que caracteriza a mineralização para todos os tratamentos em todas as profundidades (Figura 1).

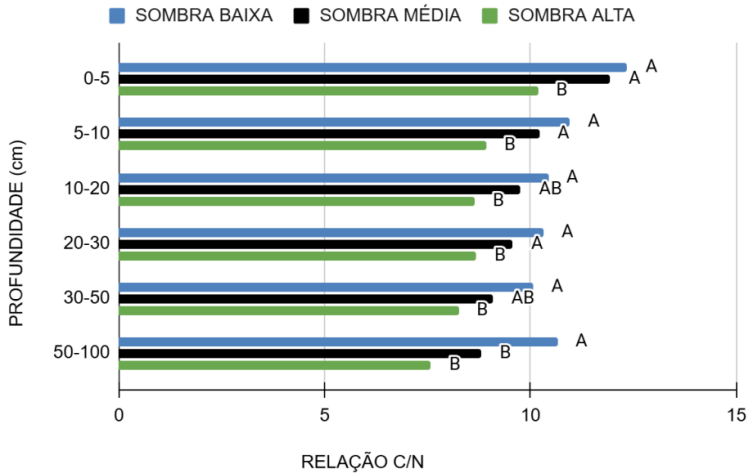


Figura 1. Relação entre carbono/nitrogênio em profundidade, sob a ação de diferentes níveis de sombra.

CONCLUSÕES

Independente da profundidade do solo, sistemas de produção de erva-mate com maior nível de sombreamento diminui a relação C/N, acarretando em maiores taxas de mineralização.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Florestas pela parceria na coleta e análises laboratoriais e ao grupo de estudos em fertilidade e nutrição – Fertinutrican pelo auxílio.

Ao recurso disponibilizado pelo Edital 10/2024/DP/CAN - Programa de Apoio ao Desenvolvimento de Projetos de Pesquisa com Finalidade Didático-Pedagógica em Cursos Regulares no Campus Canoinhas.

BIBLIOGRAFIA

BARBOSA, M. A. DA S. **Potencial de mineralização de carbono e nitrogênio em solos do semiárido paraibano**. 2016. f. 55. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Areia-PB, 2016.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras** (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras), Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, p.457-466, 2003.

EMBRAPA FLORESTAS. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas de produção de erva-mate sombreado, integrado e sob pleno sol: estudo de caso em Bituruna, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2022. (Documentos, 383).

EMBRAPA, 1997. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Embrapa, Rio de Janeiro.

EPAGRI, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, **Canoinhas Caracterização Regional**, 2003. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/diagnostico/CANOINHAS.pdf Acesso em: 03 fev 2025.

FRAZER, G. W., CANHAM, C. D., & LERTZMAN, K. P. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0**: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users

manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, 1999. 36p.

HOULTON, B.Z.; MORFORD, S.L. A new synthesis for terrestrial nitrogen inputs. **Soil**, v.1, p.381–397, 2015.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In:* PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (ed.). Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. Part 2. 2nd ed. Madison: ASA; SSSA, 1982. p. 539-579.

PALACIOS, P. I. C. **Sistemas de cultivo de erva-mate: atributos físicos, indicadores de qualidade e estoque de carbono num latossolo vermelho aluminoférrico**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Do Paraná, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2010.

PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Erva 20:** sistema de produção de erva-mate. Brasília, DF: Embrapa, 2019, 152 p.

SANTIN, D. ; ROMANCHUK, J. C. ; SOARES, M. T. DE; WENDLING,I.; PAULETTI, V. ; BENEDETTI, E. L. Nível de sombra na produtividade inicial de clones de erva-mate. *In:* Actas. **VII Congresso Sudamericano de Yerba Mate; IV Simpósio Internacional de Yerba Mate y Salud; II Feira de Tecnologia en la Yerbatera**, Hohenau, Itapuá, 2023. p. 32-36.

VIEIRA, L. C.; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; RONQUIM, C. C.; PAIM, F. A. P.; TROMBIM, V. G. **Carbono (c), nitrogênio (n) e relação c/n em raízes, tronco, galhos, folhas e frutos de laranjeiras (Citrus sinensis l. Osbeck) no estado de São Paulo**. *In:* CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17, São Paulo, 2023. Resumos [...]. São Paulo: CIIC, 2023. p. 11.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; DE ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul do Brasil.** 2. ed. rev. Brasília: Embrapa, 2012. 333p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUÇÃO DE MASSA FRESCA E SECA DE COBERTURAS VEGETAIS EM SISTEMA DE CULTIVO DE ERVA-MATE

Rodrigo Zientara[1*], Vilmara Aparecida Santos da Costa[1], Danieli Aparecida Kaminski Zientara[1], José Carlos Romanchuk[1], Eliziane Luiza Benedetti[2]

[1]Discentes de Agronomia do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Canoinhas. *rodrigozientara100@gmil.com,

[2] Docente e pesquisadora, Instituto Federal de Santa Catarina.

RESUMO

O uso de coberturas vegetais no cultivo da erva-mate contribui para a conservação do solo e melhoria da fertilidade. Este estudo avaliou a produção de biomassa fresca e seca de diferentes coberturas vegetais em um sistema de erva-mate, comparando espécies perenes e anuais. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, analisando seis tratamentos com diferentes tipos de cobertura, incluindo gramíneas e leguminosas. Os resultados demonstraram que o consórcio feijão guandu + capim sudão apresentou a maior produção de massa seca (3,5 t/ha), sendo a melhor opção para cobertura do solo. As gramíneas capim sudão e grama sempre-verde também tiveram alta produção, enquanto as leguminosas feijão guandu e amendoim forrageiro apresentaram os menores valores. Os achados reforçam a importância da escolha da cobertura vegetal para otimizar a produção de biomassa e melhorar a qualidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: cobertura vegetal; leguminosa; biomassa seca.

INTRODUÇÃO

O uso de coberturas vegetais no cultivo da erva-mate tem sido amplamente estudado como uma estratégia eficaz para a conservação do solo e melhoria da fertilidade. A utilização dessas coberturas pode reduzir processos erosivos, minimizar a lixiviação de nutrientes e melhorar a retenção de umidade no solo, além de proporcionar matéria orgânica para a cultura principal. Estudos realizados por Philipovsky *et al.,* (2004) destacam que a adoção de coberturas verdes nas entrelinhas dos ervais pode controlar plantas daninhas e favorecer a estruturação do solo além de maiores produtividades na erva mate, sendo destacado Tremoço azul proporcionando produtividade do erval de 5,8 kg/planta, e a vegetação espontânea sendo a pior produção 3,3 kg/planta. Os autores também destacam que o uso de Aveia foi pouco eficaz se assemelhando a produção da vegetação espontânea, demonstrando a importância de testar a eficácia de culturas como planta de cobertura para a erva-mate.

Como cobertura de solo, o *Cajanus cajan* (feijão-guandu) se destaca como leguminosa com alto potencial produtivo de massa aérea (Beltrame e Rodrigues, 2007), sendo capaz de produzir 4,5 - 9,0 t/ha de massa-seca (Carvalho *et al*., 2022). Já o *Sorghum sudanense* (capim-sudão) é uma gramínea com alta velocidade de crescimento e boa capacidade de perfilhamento (Dabul *et al*., 2018), pode produzir 15 - 20 t/ha de massa seca (Carvalho *et al*., 2022).

O presente estudo avaliou produtividade de massa fresca e massa seca disponibilizada por diferentes coberturas verdes de verão e perenes em um cultivo de erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na localidade de Santa Emídia localizada na latitude de 26°20’21”S e longitude de 50°35’45”W, a uma altitude de 817 metros acima do nível do mar. O clima da região é classificado como Cfb, conforme a classificação climática de Köppen, indicando que não há estação seca pronunciada e invernos frescos. Este tipo de clima é caracterizado pela distribuição de precipitação relativamente uniforme ao longo do ano e temperaturas médias mensais abaixo de 22°C nos meses mais quentes (Wrege, 2012). Até 2019, a área era ocupada por plantio de eucalipto, intercalado com indivíduos esparsos de araucária e imbuia,

enquanto a grama nativa servia como pastagem para o gado por cerca de 30 anos. Entre 2019 e 2021, o local foi destinado ao cultivo de tabaco. Em agosto de 2021, a cultura da erva-mate foi implantada, com espaçamento de 1,65 x 2,90 m, utilizando mudas propagadas de forma seminal.

O experimento foi disposto no delineamento blocos casualizados, sendo a unidade experimental composta de seis plantas de erva-mate com quatro repetições. Entre parcelas possui uma linha de bordadura. A área total da parcela é de 57,4 m^2. Para semeadura de culturas de coberturas anuais e perenes, respeitou-se 60 cm de cada lado da linha de erva-mate sem semeadura. Neste caso a área útil de semeadura por parcela foi de 33,5 m^2. Os tratamentos do experimento foram compostos por diferentes coberturas vegetais, incluindo espécies perenes e anuais, cultivadas nos períodos de verão e inverno. Os resultados desse estudo correspondem ao cultivo de verão safra 2024/2025.

Os tratamentos T1 e T2 consistem de culturas perenes, sendo o tratamento T1 = amendoim forrageiro, T2 = grama sempre verde. Os demais tratamentos correspondem à espécies anuais, sendo: T3 = feijão guandu, T4 = capim sudão , T5 = consórcio de feijão guandu e capim sudão e T6 = sem coberturas. As coberturas anuais foram estabelecidas de acordo com as recomendações específicas de semeadura, utilizando-se 25 kg/ha para o feijão guandu, 22 kg/ha para o capim sudão. As coberturas perenes foram implantadas em outubro de 2023 a partir de mudas, respeitando um espaçamento de 50 cm entre plantas e entre linhas. A semeadura das espécies anuais de verão foi realizada em outubro de 2024. A implementação dos tratamentos seguiu um delineamento experimental em blocos casualizados, permitindo a comparação entre os diferentes tipos de cobertura e seus efeitos sobre o solo e a cultura da erva-mate.

As amostras da parte aérea foram coletadas, em fevereiro de 2025, na área delimitada por um gabarito de 0,5m^2. Após retirada e aferida a massa fresca (em balança de precisão) e massa seca após secagem a 65°C por 24 horas, os dados foram extrapolados para produtividade em t/ha.

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o software R, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA), quando detectada diferença estatística significativa, prosseguiu-se com o teste de Tukey a 5 % de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da produção de massa fresca (MF) e massa seca (MS) das coberturas vegetais demonstrou diferenças estatísticas entre os tratamentos (Figura 1 e 2). A grama apresentou a maior produção de MF, não diferindo do consórcio, sendo estatisticamente superior aos demais tratamentos (Figura 1).

Em relação à massa seca, os tratamentos Grama, Capim Sudão e Feijão Guandu + Capim Sudão foram estatisticamente superiores às leguminosas (Figura 2). A maior produção de MS nos tratamentos com gramíneas pode ser atribuída às características intrínsecas às espécies (Doneda *et al*., 2012). No entanto, observa-se que as produtividades de massa seca obtidas nesse estudo estão abaixo do observado por outros autores (Carvalho *et al*., 2022, Nizer *et al*.; 2024).

O feijão guandu, mesmo possuindo menor biomassa é uma leguminosa e como plantas de cobertura é uma importante fonte de N (Doneda *et al*., 2012) porém, possui taxa de mineralização rápida, desaparecendo totalmente da superfície em torno de 90 dias, ocasionando menor tempo de cobertura do solo, em relação às gramíneas, que possuem uma decomposição mais lenta, já que possuem predomínio da produção de matéria seca quando comparado com às leguminosas (Alvarenga, 2001).

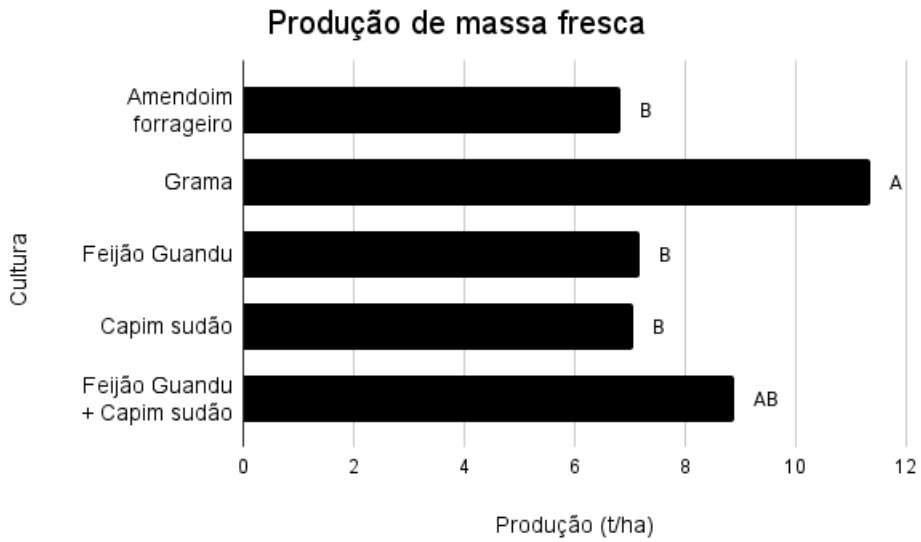


Figura 1. Produção de massa fresca em diferentes plantas de cobertura. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

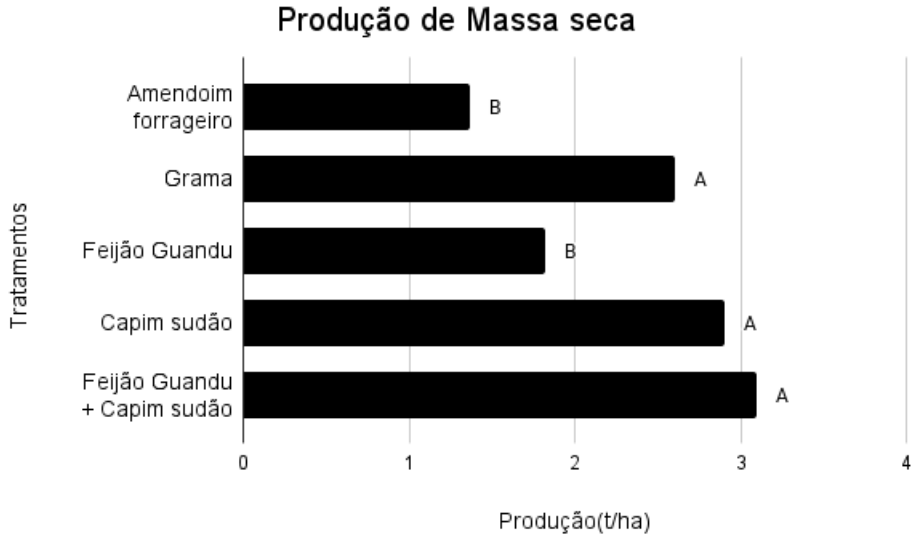


Figura 2. Produção de massa seca em diferentes plantas de cobertura. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

O capim sudão e a grama são gramíneaa, com vários benefícios ao manejo da erva-mate, podendo se observar a maior produção de biomassa, favorecendo uma cobertura do solo por um período maior e minimizando problemas como erosão, umidade do solo entre outros, entretanto não realiza fixação de nitrogênio. Dessa forma, o consórcio entre guandu e capim-sudão possui vantagem em proporcionar cobertura de solo por maior tempo e liberação de nitrogênio de forma mais sincronizada à demanda da cultura de interesse (Aita e Giacomini, 2003), quando comparada à leguminosa solteira (Giacomini *et al*., 2003).

Esses resultados reforçam a importância de selecionar cuidadosamente as espécies de plantas de cobertura e explorar estratégias de consórcio para maximizar a produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

CONCLUSÕES

A presença de gramíneas (tanto solteira como em consórcio) possibilitaram maior produção de massa seca, indicando sua superioridade na geração de biomassa para cobertura do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo de estudos em fertilidade e nutrição – Fertinutrican pelo auxílio. À Epagri Chapecó pela doação de sementes do feijão guandu.

BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, R. C. R.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P.S. **Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, jan.lfev. 2001.

AITA, C; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 601-612, 2003.

BELTRAME, T. P.; RODRIGUES, E. Feijão guandu (Cajanus cajan (L.) Millsp.) na restauração de florestas tropicais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 19-28, jan./mar. 2007.

CARVALHO, M. L. *et al.,*. **Guia Prático de Plantas de Cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo.** ESALQ: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2019.

DABUL, J. G; VEIGA, J. P; GOBETTI, S. T. DE C. Características e formas de manejo do capim sudão (Sorghum sudanense). **Revista Ciência Veterinária**. v. 1, n. 2, abr/jun 2018.

DONEDA, A.; AITA, C; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E.C.C.; GIACOMINI, D.A.; Schirmann, J.; Gonzatto, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; E. R. O. VENDRUSCOLO.; M. CUBILLA.; R. S. NICOLOSO.; M. R. FRIES. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, Fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

NIZER,C. M.; SANTOS, V. A.; ROMANCHUK, J.C.; CRUZ, L. R. da.; BENEDETTI2, E. L. .Produção de biomassa de plantas de cobertura em cultivo de erva-mate. *In:* **10º SEPEI**, 10., São Miguel do Oeste, 2024, IFSC. P. 1484-1488.

PHILIPOVSKY, J. F.; DEDECEK, R. A.; MEDRADO, M. J. S. **Influência de coberturas verdes de inverno e de sistemas de preparo do solo na produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), em Ponta Grossa, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. Boletim de Pesquisa Florestal, n. 48, p. 3-13.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; DE ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul do Brasil.** 2. ed. rev. Brasília: Embrapa, 2012. 333p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

NÍVEIS DE SOMBREAMENTO ALTERAM O ESTOQUE DE CARBONO EM PROFUNDIDADE NO SOLO?

Rodrigo Zientara[1*], Vilmara Aparecida Santos da Costa[1], José Carlos Romanchuk[1], Josileia Acordi Zanatta[2], Eliziane Luiza Benedetti[3]

[1]Discentes de Agronomia do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Canoinhas. *rodrigozientara100@gmil.com,
[2]Pesquisadora Embrapa Florestas, [3] Docente e pesquisadora, Instituto Federal de Santa Catarina.

RESUMO

A dinâmica do carbono no solo é influenciada por diversos fatores, incluindo o manejo agrícola e as condições ambientais. O objetivo desse estudo foi avaliar o impacto de níveis de sombreamento sobre o estoque de carbono em diferentes profundidades do solo em cultivo de erva-mate. Foram analisados três níveis de sombreamento (alta, média e baixa) e seis profundidades do solo (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-100 cm). Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas entre os tratamentos nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm. No entanto, na camada 50-100 cm, foi observada diferença significativa, a Sombra Baixa apresentou os maiores estoques de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: carbono orgânico; sequestro de carbono, erva-mate.

INTRODUÇÃO

O carbono orgânico do solo (COS) desempenha um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas, na fertilidade dos solos e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O estoque de carbono no solo pode ser influenciado por diversos fatores, incluindo o manejo da vegetação, o uso do solo e as condições ambientais (Marchão *et al*., 2019). Sistemas agroflorestais e cultivos sob diferentes níveis de sombreamento podem modificar a dinâmica do carbono no solo devido à variação na deposição de resíduos vegetais, influência direta sobre a atividade microbiana e taxa de mineralização do carbono (Rachwal *et al*., 2023).

A erva-mate (Ilex paraguariensis) é uma cultura de importância econômica e ambiental na região Sul do Brasil, cultivada tanto em sistemas de sombreamento natural quanto em áreas a pleno sol. A cobertura vegetal e as condições locais podem afetar diretamente o acúmulo e a estabilização do carbono no solo, modificando sua distribuição ao longo do perfil (Marques *et al*., 2013; Salton *et al*., 2008). Trabalhos anteriores indicam que solos sob maior sombreamento podem apresentar maiores estoques de carbono devido à menor decomposição da matéria orgânica e maior incorporação de biomassa ao solo (Rachwal *et al*., 2023). No entanto, há divergências na literatura, e alguns estudos apontam que áreas com menor sombreamento podem apresentar maior entrada de carbono no solo devido ao crescimento radicular mais intenso e maior deposição de biomassa vegetal (Marchão *et al*., 2019). Essas discrepâncias indicam que a relação entre sombreamento e estoque de carbono no solo pode depender de múltiplos fatores, incluindo tempo de cultivo, tipo de solo e regime de manejo agrícola.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes níveis de sombreamento sobre o estoque de carbono em profundidade do solo cultivado com erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na localidade de Santa Emídia - Canoinhas/SC localizada na latitude de 26°20’21”S e longitude de 50°35’45”W, a uma altitude de 817 metros acima do nível do mar. O clima da região é classificado como Cfb, conforme a classificação climática de Köppen, indicando que não há estação seca pronunciada e presença de invernos frescos. Este tipo de clima é caracterizado pela distribuição de precipitação relativamente uniforme ao longo do ano e temperaturas médias mensais abaixo de 22°C nos meses mais quentes (Wrege, 2012).

O experimento foi instalado em fevereiro de 2021 com o plantio de erva-mate no espaçamento de 1,65 x 2,75 m (2.204 plantas ha^{-1}) sob remanescentes da Floresta Ombrófila Mista. Os tratamentos consistiram de três níveis de sombra, com quatro repetições. Para quantificar o sombreamento gerado por árvores remanescentes (predominantemente imbuia, canela, araucária e bracatinga) foram capturadas 12 fotografias digitais por tratamento, distribuídas equidistantes. Utilizou-se uma câmera fotográfica digital Canon EOS 6D Full Frame, com lente olho de peixe de 8 mm, posicionada para o céu e orientada ao Norte magnético. As imagens foram processadas no software Gap Light Analyser versão 2.0 (Frazer *et al*., 1990). Determinaram-se três níveis de sombra: Baixo (abertura do dossel em 70 % - sombreamento de 30 %), Médio (abertura do dossel em 49 % - sombreamento de 51 %) e Alto (abertura dossel em 42 % - sombreamento de 58 %) (Santin *et al*. 2023). Os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos casualizados, com quatro repetições. Para evitar a interferência de sombra sobre tratamentos, manteve-se uma distância de 20 m entre os níveis de sombra. Para a estimativa de estoque foi considerado a concentração de C pela massa de solo contida em cada camada. A massa de solo foi estimada pela relação de massa e volume do solo dada pela densidade aparente medida.

Em agosto de 2024, 3 anos após a instalação do experimento, foi realizada a coleta de amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-100 cm. Em cada tratamento realizou-se quatro amostragens. As amostras de solo foram secas ao ar, moídas finamente (0,1mm) para análise total de C, determinados por combustão seca, em analisador de CHNS (Nelson e Sommers, 1982).

Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade e normalidade, e quando aceitos seus pressupostos foram submetidos à Anova e teste de Média (Tukey) utilizando o Software estatístico R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de sombreamento praticamente não influenciaram na quantidade de carbono ao longo do perfil. Enquanto as camadas de 0-5, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 e 30-50 cm não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, a camada de 50-100 cm mostrou variação estatisticamente relevante (Figura 1) em favor da baixa sombra.

Esses resultados sugerem que a interação entre a cobertura vegetal e a dinâmica do carbono no solo pode ser influenciada pela intensidade de sombreamento, possivelmente devido à maior produtividade da erva-mate em condições de menor sombra. Estudos adicionais são recomendados para avaliar os impactos de longo prazo do sombreamento na dinâmica do carbono no solo. Os resultados deste estudo divergem dos obtidos por Rachwal *et al*. (2023), que identificaram maior estoque de carbono em solos sob maior sombreamento, especialmente nas camadas superficiais (0-30 cm). Já que não foi identificada diferença estatística nas camadas mais superficiais, essa discrepância de resultado entre os trabalhos pode estar associada a fatores como as condições edafoclimáticas distintas entre os estudos, o tempo de cultivo e o manejo da erva-mate. A estabilização do carbono orgânico no solo é influenciada por fatores como textura, mineralogia e manejo agrícola (Marchão *et al*., 2019). Esses aspectos podem contribuir para as diferenças observadas entre os resultados deste estudo e aqueles relatados na literatura.

Ademais Palacios (2010), obteve resultados semelhantes aos desse estudo para áreas com alto nível de sombreamento. A autora afirma que, o sistema de produção de erva-mate em áreas arborizadas com outras espécies nativas apresentou menores níveis de carbono estocado no solo. Isso pode ser explicado pelo baixo aporte de resíduos das espécies florestais, que, devido à sua idade jovem de apenas 7 anos e ao crescimento lento, ainda não têm capacidade de reciclar grandes quantidades de nutrientes no solo.

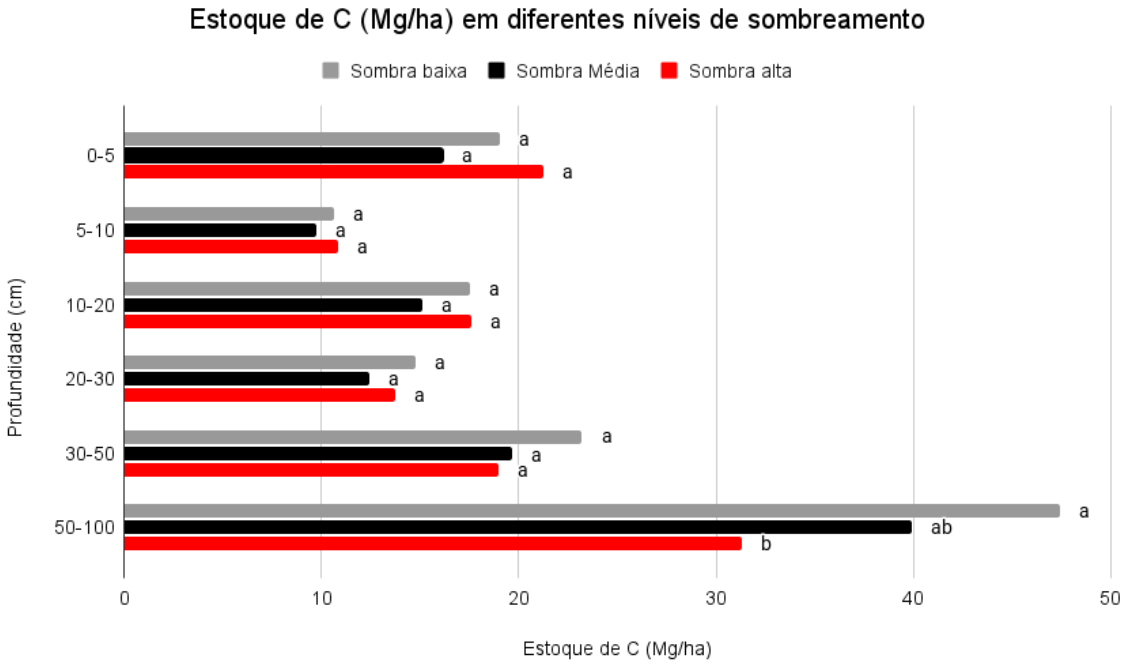


Figura 1. Estoque de Carbono (Mg/ha) em função de diferentes níveis de sombra.

CONCLUSÕES

O sombreamento influenciou o estoque de carbono apenas na camada mais profunda (50-100), o que precisa ser melhor investigado para esclarecer as causas.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Florestas pela parceria na coleta e análises laboratoriais e ao grupo de estudos em fertilidade e nutrição – Fertinutrican pelo auxílio.

Ao recurso disponibilizado pelo Edital 10/2024/DP/CAN - Programa de Apoio ao Desenvolvimento de Projetos de Pesquisa com Finalidade Didático-Pedagógica em Cursos Regulares no Campus Canoinhas.

BIBLIOGRAFIA

MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES, D. V.; MADARI, B. E.; MOREIRA, J. A. A.; ARAUJO, K. W. S.; CARVALHO, B. M.; BODO, B. S. **Métodos para quantificação do carbono orgânico do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2019. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 352).

MARQUES, J. D.; SCHAEFER, C. E. G. R.; CORRÊA, G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; FERNANDES, L. A. Estoques de carbono em Latossolos sob diferentes coberturas vegetais na Amazônia Central. *In:* Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, 2013, Belém. **Anais** [...]. Belém: IFPA, 2013. Disponível em: www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1002068/1/CONNEPI1.pdf Acesso em: 23 Jan, 2025.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In:* PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (ed.). Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. Part 2. 2nd ed. Madison: ASA; SSSA, 1982. p. 539-579.

PALACIOS, P. I. C. **Sistemas de cultivo de erva-mate: atributos físicos, indicadores de qualidade e estoque de carbono num latossolo vermelho aluminoférrico**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Do Paraná, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2010.

RACHWAL, M. F. G.; ARCO VERDE, M. F.; ZANATTA, J. A.; GOULART, I. C. G. R.; DEDINI, G. F. A.; COSTA, M. S. A.; TOMASI, J. C.; AMARO, G. C.; SANTAROSA, E.; BRIENZA JÚNIOR, S. **Estoque de carbono e viabilidade econômica de erva-mate sombreada e sob pleno sol:** estudo de caso em Cruz Machado e Bituruna, PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2023. 53 p

SANTIN, D.; ROMANCHUK, J. C.; SOARES, M. T. DE; WENDLING, I.; PAULETTI, V.; BENEDETTI, E. L. Nível de sombra na produtividade inicial de clones de erva-mate. *In:* Actas. VII Congresso Sudamericano de Yerba Mate; IV Simpósio Internacional de Yerba Mate y Salud; II Feira de Tecnologia en la Yerbatera, Hohenau, Itapuá, 2023. p. 32-36.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. **Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; DE ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul do Brasil.** 2. ed. rev. Brasília: Embrapa, 2012. 333p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ACÚMULO DE FÓSFORO EM ERVA-MATE SOB EFEITO DA INOCULAÇÃO MICORRÍZICA E ADUBAÇÃO FOSFATADA

Fabricio William de Ávila[1*], Thais Szczepanik[2], Orivaldo José Saggin Júnior[3], Karin Kamila Birck Lopes de Matos[4], Katia Cylene Lombardi[5]

[1] Professor, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Guarapuava-PR; [2]Professora, Centro Estadual Florestal de Educação Profissional Presidente Costa e Silva – CEFEP, Irati-PR; [3]Pesquisador, Centro de Recursos Biológicos Johanna Döbereiner, Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ; [4]Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Guarapuava-PR; [5]Professora, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati-PR. E-mail: *fwavila@unicentro.br

RESUMO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis*) possui grande importância socioeconômica para a região Sul do Brasil. No entanto, a baixa disponibilidade de fósforo (P) nos solos brasileiros tem sido um fator limitante para o crescimento dessa cultura. Objetivou-se avaliar o acúmulo de P pela erva-mate em função da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e da adubação fosfatada. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, seguindo um delineamento em DBC, com quatro repetições, em esquema fatorial 2×7, sendo dois tratamentos de inoculação micorrízica e sete doses de P. O acúmulo de P na matéria seca da parte aérea e das raízes aumentou de forma quadrática com o incremento das doses de P. A inoculação com FMAs promoveu um acréscimo significativo na quantidade de P acumulada na parte aérea das plantas, evidenciando o potencial desses microrganismos para aumentar a eficiência da absorção de P na erva-mate.
PALAVRAS-CHAVE: *Ilex paraguariensis*; microrganismos; biofertilizantes, sustentabilidade

INTRODUÇÃO

O cultivo de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) é considerado um dos sistemas florestais e agroflorestais de maior equilíbrio ecológico do Brasil, sendo uma importante fonte de renda para pequenos produtores e contribuindo para a valorização da cultura dos povos tradicionais. Assim, o cultivo da erva-mate consolidou-se como a principal atividade florestal não madeireira da região Sul do país (JÚNIOR e FOCKINK, 2017). A expansão dessa cultura deve-se à diversificação de seus usos, incluindo a aplicação na indústria fitoterápica, cosmética e alimentícia, devido às suas propriedades benéficas à saúde (CROGE *et al.*,2021).

Nos solos altamente intemperizados do Brasil, a baixa disponibilidade de fósforo (P) é um dos principais fatores limitantes ao crescimento das plantas, uma vez que esse nutriente interage fortemente com os coloides minerais do solo. O P é rapidamente adsorvido por óxidos de ferro e alumínio, especialmente em solos de textura argilosa, formando compostos pouco disponíveis para as plantas. Além disso, sua taxa de difusão no solo é extremamente baixa, resultando na formação de um volume de depleção ao redor das raízes, o que reduz significativamente sua absorção (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Para aumentar a eficiência da absorção de P pelas culturas agrícolas e florestais, métodos alternativos vêm sendo estudados, incluindo estratégias para ampliar a superfície absortiva das raízes. Nesse contexto, a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) tem se mostrado uma abordagem promissora. Os FMAs colonizam o córtex radicular sem causar danos ao tecido vegetal, desenvolvendo hifas extrarradiculares que aumentam a captação de P e melhoram a nutrição das plantas colonizadas (COLOZZI-FILHO e NOGUEIRA, 2007). Além disso, a simbiose micorrízica provoca modificações fisiológicas e bioquímicas que aprimoram a nutrição mineral e a tolerância a estresses ambientais (CARNEIRO *et al.*, 2011).

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar o acúmulo de P na matéria seca de raízes, caule e folhas de plantas de erva-mate em resposta à inoculação com FMAs e à adubação fosfatada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no viveiro de mudas florestais do Centro Estadual Florestal de Educação Profissional Presidente Costa e Silva (CEFEP), conhecido como Colégio Florestal, localizado no município de Irati, Paraná, Brasil. O local encontra-se a uma latitude de 25º30'12,705" S, longitude 50º38'6,347" O e altitude de 880 metros acima do nível do mar.

Foram utilizadas mudas de erva-mate (variedade Ybaporanga) obtidas por propagação seminal. Após atingirem aproximadamente 25 cm de altura, estágio em que são consideradas aptas para o plantio definitivo, foram transplantadas para vasos de PVC com capacidade para 10 kg de solo. O solo empregado no estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa e coletado em uma área previamente caracterizada. A análise química revelou um teor de 1,0 mg dm^{-3} de P disponível (P Mehlich-1), valor considerado muito baixo, conforme classificação do Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBCS, 2019).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, sendo estruturado em esquema fatorial 2×7, compreendendo dois níveis de inoculação micorrízica e sete doses de fósforo (P) aplicadas ao solo. Dessa forma, o experimento totalizou 14 tratamentos, distribuídos em 56 unidades experimentais. Cada unidade experimental continha três vasos, totalizando 168 vasos, cada um com uma planta de erva-mate.

Os tratamentos de adubação fosfatada referiram-se às doses de 0, 5, 15, 30, 60, 150 e 400 mg kg^{-1} de P, aplicadas integralmente na superfície do solo no momento do transplantio, por meio de soluções previamente preparadas. Além disso, todas as mudas receberam adubações nitrogenada e potássica, tanto na fase inicial quanto em cobertura, por meio da aplicação de soluções na superfície do solo. As soluções foram preparadas utilizando reagentes de grau analítico (p.a.).

A inoculação micorrízica foi realizada com a aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) diretamente na cova de plantio. Foram testados dois tratamentos: 1) sem inoculação e 2) com inoculação micorrízica. O inoculante utilizado foi fornecido pelo Centro de Recursos Biológicos Johanna Döbereiner (Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ, Brasil) e continha uma mistura de esporos de 11 linhagens distintas de FMAs.

Após 320 dias do transplantio (DAT), as plantas foram colhidas e segmentadas em raízes, caule (incluindo ramos) e folhas. A matéria seca de cada compartimento foi quantificada, e amostras do material vegetal seco e moído foram analisadas para a determinação do teor de P, seguindo o protocolo descrito pela Embrapa (2009). O acúmulo de P em cada parte da planta foi estimado a partir da relação entre a concentração de P nos tecidos e a respectiva biomassa seca.

A normalidade e a homocedasticidade dos dados foram verificadas pelos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, utilizando o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $p \leq 0,05$) com o auxílio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2011). Nos casos em que houve significância estatística para o fator "doses de P", foram ajustados modelos de regressão polinomial de segunda ordem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de P nas diferentes partes da planta foi significativamente influenciado pelos efeitos isolados dos fatores "inoculação micorrízica" e "doses de P" ($p \leq 0,05$), porém, não houve efeito significativo da interação entre esses fatores ($p > 0,05$). Os valores de P acumulado nas folhas, caule, parte aérea (folhas + caule), raízes e total (parte aérea + raízes), bem como a relação percentual entre o P acumulado na raiz e na parte aérea, estão apresentados na figura 1.

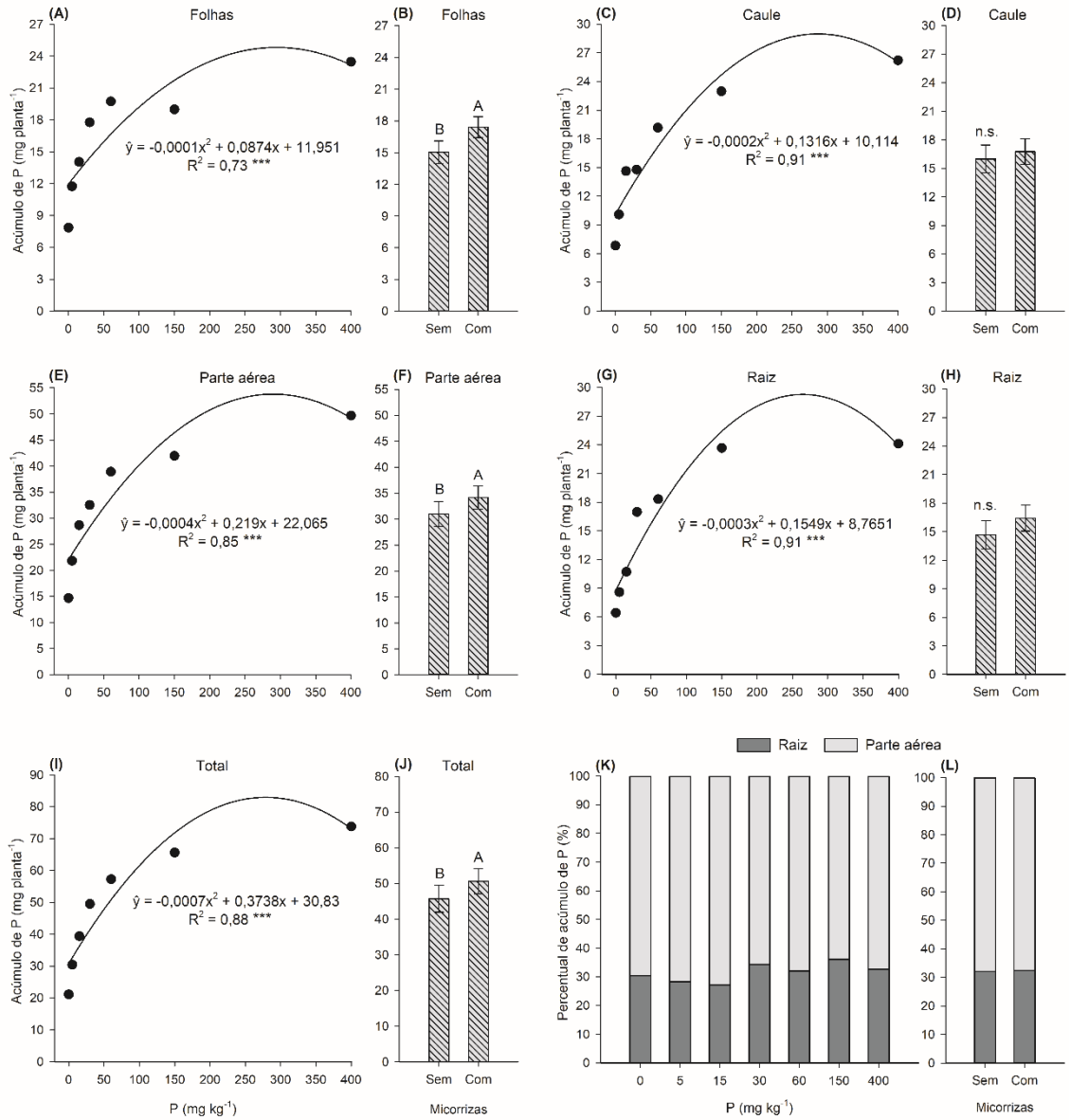


Figura 13. Acúmulo de P (mg planta^{-1}) nas folhas (A e B), caule (C e D), parte aérea (E e F), raízes (G e H), total (I e J) e relação percentual do acúmulo de P entre raiz e parte aérea (K e L) em plantas de erva-mate avaliadas aos 320 dias após o transplantio, em função das doses de P aplicadas ao solo e da inoculação micorrízica (UNICENTRO, Irati-PR, 2023).

Figuras A, C, E, G e I: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade de erro (***). Figuras B, F e J: médias seguidas por letras diferentes diferem entre si (Teste F, $p \leq 0,05$); barras representam o erro padrão da média. Figuras D e H: não significativo (n.s.) pelo Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro; barras representam o erro padrão da média.

Os dados de acúmulo de P em função das doses aplicadas ao solo foram significativamente ajustados ao modelo polinomial de segunda ordem ($p \leq 0,001$), com coeficientes de determinação (R^2) de 73% para as folhas, 91% para o caule, 85% para a parte aérea, 91% para as raízes e 88% para o acúmulo total. Assim, verificou-se que a taxa de acúmulo de P por unidade de P fornecida ao solo foi maior sob doses mais baixas de P e menor sob doses mais elevadas (Figuras 1A, 1C, 1E, 1G e 1I).

A inoculação com FMAs aumentou significativamente o acúmulo de P nas folhas (Figura 1B) e, consequentemente, também promoveu acréscimos no acúmulo de P da parte aérea (Figura 1F) e no total

acumulado pela planta (Figura 1J). Entretanto, não houve efeito significativo da inoculação micorrízica sobre o acúmulo de P no caule (Figura 1D) e nas raízes (Figura 1H).

Em relação ao acúmulo total de P, a relação entre a quantidade de P acumulada na raiz e na parte aérea foi, em média, 0,32. Ou seja, 32% do P total absorvido pela planta foi acumulado na raiz, enquanto 68% foi direcionado para a parte aérea (caule + folhas). Essa relação não foi alterada pelos tratamentos de doses de P nem pela inoculação micorrízica (Figuras 1K e 1L).

CONCLUSÕES

O acúmulo de P nas raízes, caule e folhas aumentou conforme o incremento das doses de P no solo.

A inoculação micorrízica promoveu incrementos no acúmulo de P na parte aérea da erva-mate, evidenciando sua importância no aproveitamento do nutriente pela planta.

AGRADECIMENTOS

O autor Fabrício William de Ávila expressa seu agradecimento à Fundação Araucária pelo apoio financeiro concedido para viabilizar sua participação no evento.

Esta pesquisa foi desenvolvida com o apoio do Laboratório de Solos Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO (Irati-PR), do Centro Estadual Florestal de Educação Profissional Presidente Costa e Silva – CEFEP (Colégio Florestal, Irati-PR) e do Centro de Recursos Biológicos Johanna Döbereiner (Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ).

Este trabalho integra a dissertação de mestrado de Thais Szczepanik, segunda autora deste resumo.

BIBLIOGRAFIA

CARNEIRO, R. F. V.; MARTINS, M. A.; ARAUJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L. Inoculação micorrízica arbuscular e adubação fosfatada no cultivo de forrageiras consorciadas. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.60, n.232, p.1191-1202, 2011.

COLOZZI-FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. *In*: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (ed.) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. IAC, Campinas-SP. p. 39-56, 2007.

CROGE, C. P.; CUQUEL, F. L.; PINTRO, P. T. M. Yerba mate: cultivation systems, processing and chemical composition. A review. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 78, n. 5, e20190259, 2021.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Brazil: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, 1039-1042, 2011.

JÚNIOR, P.C F.; FOCKINK, G.D. Anatomia foliar de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill.) sob diferentes níveis de sombreamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.16, n.3, p.335-341, 2017

NEPAR-SBCS – NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2 ed. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019. 289 p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CRESCIMENTO INICIAL DE ERVA-MATE EM RESPOSTA À INOCULAÇÃO MICORRÍZICA E DOSES DE FÓSFORO

Fabricio William de Ávila[1*], Thais Szczepanik[2], Orivaldo José Saggin Júnior[3], Karin Kamila Birck Lopes de Matos[4], Katia Cylene Lombardi[5]

[1] Professor, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Guarapuava-PR; [2]Professora, Centro Estadual Florestal de Educação Profissional Presidente Costa e Silva – CEFEP, Irati-PR; [3]Pesquisador, Centro de Recursos Biológicos Johanna Döbereiner, Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ; [4]Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Guarapuava-PR; [5]Professora, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati-PR. E-mail: * fwavila@unicentro.br

RESUMO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis*) é o principal produto florestal não madeireiro da região Sul do Brasil. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) podem aumentar a eficiência da absorção de fósforo (P) pelas plantas. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da inoculação com FMAs e de doses de fósforo no crescimento inicial da erva-mate. O experimento de casa de vegetação foi conduzido em delineamento em DBC, com quatro repetições, em esquema fatorial 2×7. Os fatores experimentais consistiram em dois níveis de inoculação micorrízica e sete doses de P adicionadas ao solo. Aos 320 dias após o transplantio, as plantas foram colhidas e obteve-se os pesos de matéria seca de raízes, caule e folhas. A adubação fosfatada, em doses moderadas, foi fundamental para o crescimento inicial da erva-mate. Sob deficiência de P, a inoculação com FMAs favoreceu o incremento de biomassa de raízes e de parte aérea das plantas de erva-mate.

PALAVRAS-CHAVE: *Ilex paraguariensis*; microrganismos; biofertilizantes, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) é uma espécie perene nativa da América do Sul, amplamente cultivada na região Sul do Brasil, onde tem grande importância socioeconômica. Seu cultivo é uma das principais atividades florestais não madeireiras da região, destacando-se tanto pela produção tradicional quanto pelo crescente uso em fitoterápicos, cosméticos e alimentos funcionais (JÚNIOR e FOCKINK, 2017; CROGE *et al.*, 2021).

A produtividade e a qualidade da erva-mate estão diretamente associadas à disponibilidade de fósforo (P) no solo, um nutriente que, nos solos brasileiros, encontra-se fortemente adsorvido aos coloides minerais, especialmente aos óxidos e hidróxidos de ferro (goethita – FeOOH e hematita – Fe_2O_3) e alumínio (gibbsita – $Al(OH)_3$), tornando-se pouco disponível para as plantas (SANTIN, 2013; GOULART *et al.*, 2022). Além disso, a eficiência da adubação fosfatada é limitada, pois o P possui baixa mobilidade no solo, levando à formação de zonas de depleção ao redor das raízes (RHEINHEIMER *et al.*, 2020).

Nesse contexto, alternativas que aumentem a eficiência da absorção de P tornam-se fundamentais para a sustentabilidade do cultivo da erva-mate. A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) tem se mostrado uma estratégia promissora, pois esses microrganismos formam simbioses com as raízes, ampliando sua superfície absortiva e promovendo maior captação de água e nutrientes (COLOZZI-FILHO e NOGUEIRA, 2007; CARNEIRO *et al.*, 2011). A colonização micorrízica é particularmente relevante em solos pobres em P, podendo reduzir a dependência de fertilizantes minerais e contribuir para a sustentabilidade do sistema produtivo (CLARK *et al.*, 2000).

Diante disso, estudos sobre o uso de inoculantes à base de FMAs em plantios de erva-mate são essenciais para aprimorar o manejo silvicultural da cultura, otimizar a nutrição fosfatada e reduzir impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes minerais. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da inoculação micorrízica e de doses de P no crescimento inicial de plantas de erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com a erva-mate foi conduzido em condições de casa de vegetação no viveiro de produção de mudas florestais do Centro Estadual Florestal de Educação Profissional Presidente Costa e Silva (CEFEP), conhecido como Colégio Florestal, localizado no município de Irati, estado do Paraná, Brasil (latitude 25º30'12,705" S, longitude 50º38'6,347" O, e altitude de 880 m acima do nível do mar).

As mudas de erva-mate (variedade Ybaporanga) foram obtidas por propagação seminal. Quando atingiram aproximadamente 25 cm de altura, tornando-se aptas para o plantio a campo, foram transplantadas para vasos de PVC contendo 10 kg de solo. O solo utilizado no experimento, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa, foi coletado em uma área previamente caracterizada, apresentando teor de 1,0 mg dm^{-3} de P-disponível (P Mehlich-1), valor classificado como muito baixo segundo o Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NEPAR-SBCS, 2019).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, em esquema fatorial 2 × 7, correspondendo a dois tratamentos de inoculação micorrízica e sete doses de fósforo (P) aplicadas ao solo. Assim, o experimento foi composto por 14 tratamentos, totalizando 56 unidades experimentais. Cada unidade experimental consistiu em três vasos, totalizando 168 vasos, com uma planta de erva-mate por vaso.

Os tratamentos referentes às doses de P no solo foram 0, 5, 15, 30, 60, 150 e 400 mg kg^{-1}. As doses de P foram totalmente aplicadas na superfície do solo no momento do transplantio, utilizando soluções previamente preparadas. Da mesma forma, as adubações de nitrogênio e potássio, tanto no plantio quanto em cobertura, foram realizadas de forma uniforme em todos os vasos, por meio da aplicação de soluções na superfície do solo. As soluções foram preparadas utilizando fontes de grau analítico (p.a.).

Os tratamentos de inoculação micorrízica foram: 1) sem inoculação e 2) com inoculação das plantas com FMAs. O inoculante de FMAs foi aplicado diretamente na cova no momento do transplantio e foi fornecido pelo CRB-JD da Embrapa Agrobiologia. O inoculante utilizado continha uma mistura de esporos de 11 linhagens distintas de FMAs.

Aos 320 dias após o transplantio (DAT), as plantas foram colhidas e separadas em raízes, caule (incluindo ramos) e folhas. No Laboratório de Solos Florestais da UNICENTRO, os materiais de folhas, caule e raízes de cada planta foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 58-60° C até atingirem peso constante. Em sequência, determinou-se os pesos de matéria seca das respectivas partes.

Cada valor atribuído a uma variável específica foi obtido a partir da média de três plantas, considerando que cada unidade experimental era composta por três vasos, com uma planta em cada. A normalidade e a homocedasticidade dos dados foram testadas pelos métodos de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, utilizando o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016). Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $p \leq 0,05$) com o auxílio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2011). Quando a ANOVA indicou significância, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) (SCOTT; KNOTT, 1974).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis analisadas para a produção de matéria seca foram significativamente influenciadas pelos efeitos isolados dos fatores "inoculação micorrízica" e "doses de P" ($p \leq 0,05$). No entanto, não foi observada interação significativa entre esses fatores ($p > 0,05$). Os valores obtidos de matéria seca das folhas, do caule, da parte aérea (folhas + caule), das raízes e da biomassa total (parte aérea + raízes), bem como a relação percentual entre a matéria seca das raízes e da parte aérea, estão apresentados na figura 1.

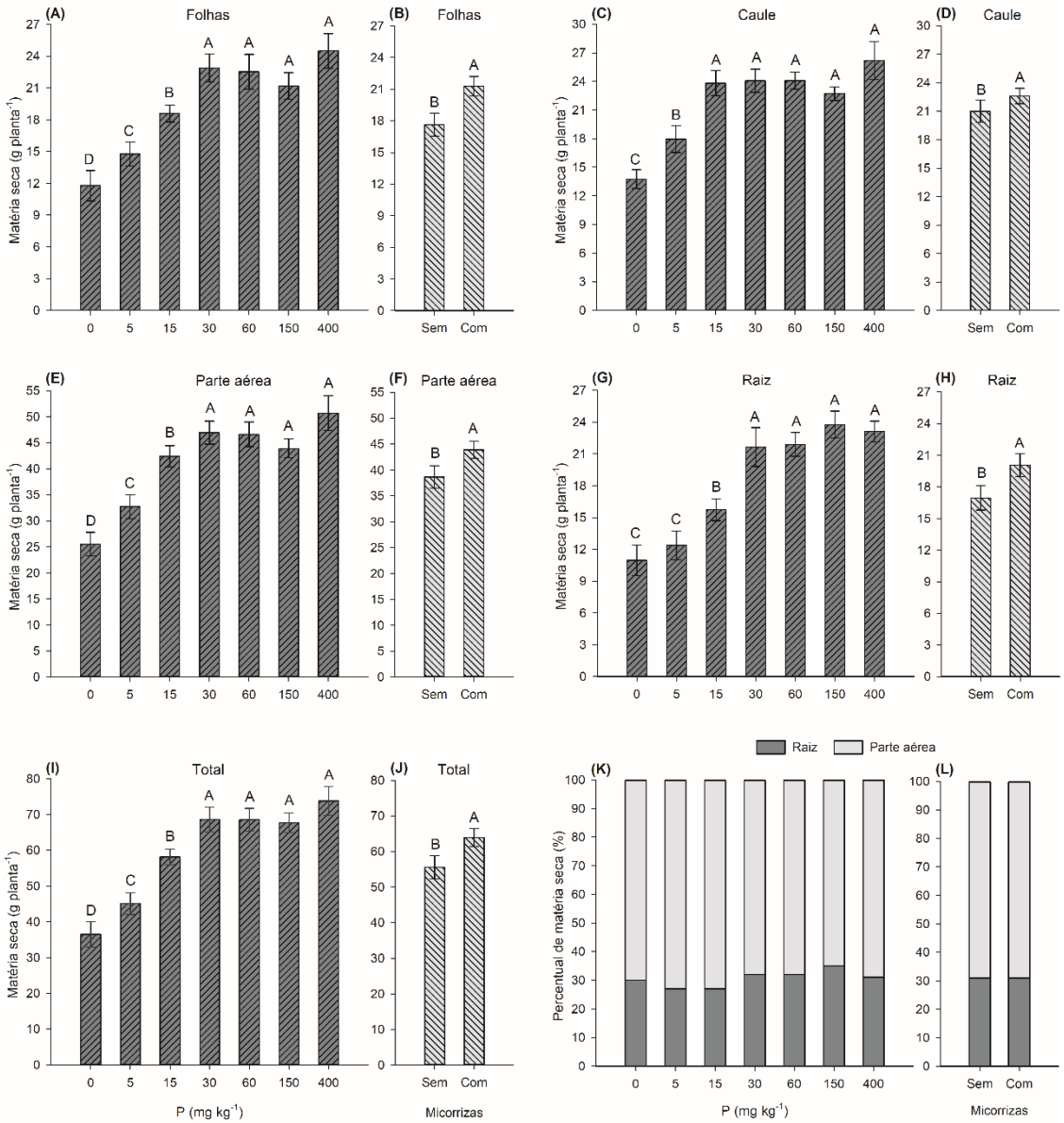


Figura 14. Produção de matéria seca (g) de folhas (A e B), caule (C e D), parte aérea (E e F), raízes (G e H), total (I e J) e relação percentual entre a matéria seca de raiz e parte aérea (K e L) em plantas de erva-mate avaliadas aos 320 dias após o transplantio, em função das doses de P e da inoculação micorrízica. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). As barras representam o erro padrão da média (UNICENTRO, Irati-PR, 2023).

Para todas as variáveis de produção de matéria seca, os menores valores foram observados nas doses 0, 5 e 15 mg kg^{-1} de P, enquanto os maiores valores foram obtidos a partir da dose 30 mg kg^{-1} de P (Figuras 1A, 1E, 1G e 1I). A única exceção foi a matéria seca do caule, cujo valor máximo foi registrado já na dose 15 mg kg^{-1} de P (Figura 1C).

A inoculação micorrízica promoveu aumentos significativos na produção de matéria seca em todas as variáveis analisadas. Em média, os incrementos observados com a inoculação de FMAs foram de 21% para folhas (Figura 1B), 8% para caule (Figura 1D), 14% para parte aérea (Figura 1F), 18% para raízes (Figura 1H) e 15% para biomassa total (Figura 1J).

Verificou-se que 31% da biomassa total correspondia às raízes, enquanto 69% estava na parte aérea. Essa relação não foi alterada pelas doses de P nem pela inoculação micorrízica (Figuras 1K e 1L).

CONCLUSÕES

A adubação fosfatada foi determinante para o aumento da produção de biomassa da erva-mate.

A inoculação micorrízica favoreceu o acúmulo de matéria seca nas folhas, no caule e nas raízes, especialmente em solos com baixa disponibilidade de P.

AGRADECIMENTOS

O autor Fabrício William de Ávila expressa seu agradecimento à Fundação Araucária pelo apoio financeiro concedido para viabilizar sua participação no evento.

Esta pesquisa foi desenvolvida com o apoio do Laboratório de Solos Florestais da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO (Irati-PR), do Centro Estadual Florestal de Educação Profissional Presidente Costa e Silva – CEFEP (Colégio Florestal, Irati-PR) e do Centro de Recursos Biológicos Johanna Döbereiner (Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ).

Este trabalho integra a dissertação de mestrado de Thais Szczepanik, segunda autora deste resumo.

BIBLIOGRAFIA

CARNEIRO, R. F. V.; MARTINS, M. A.; ARAUJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L. Inoculação micorrízica arbuscular e adubação fosfatada no cultivo de forrageiras consorciadas. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.60, n.232, p.1191-1202, 2011.

CLARK, R. B.; ZETO, S. K. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 23, p. 867-902, 2000.

COLOZZI-FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. IAC, Campinas-SP. p. 39-56, 2007.

CROGE, C. P.; CUQUEL, F. L.; PINTRO, P. T. M. Yerba mate: cultivation systems, processing and chemical composition. A review. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 78, n. 5, e20190259, 2021.

CUBAS, R. **Restabelecimento de *Araucaria angustifólia* e *Ocotea porosa* após sete décadas de exploração florestal**. 2015. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, 1039-1042, 2011.

GOULART, I. C. G. dos R.; SANTIN, D.; BRASILEIRO, B. P. Fatores que afetam a produtividade na cultura da erva-mate. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1345–1367, 2022.

JÚNIOR, P.C F.; FOCKINK, G.D. Anatomia foliar de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill.) sob diferentes níveis de sombreamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.16, n.3, p.335-341, 2017

NEPAR-SBCS – NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2 ed. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019. 289 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

RHEINHEIMER, D. S.; SOMAVILLA, A.; OLIVEIRA, L. B.; TIECHER, T. **Ciclo biogeoquímico do fósforo, diagnóstico de disponibilidade e adubação fosfatada** (1st ed.; Vol. 1). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2020.

SANTIN, D. *et al.* Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 363-375, 28 jun. 2013.

SCOTT A. J.; KNOTT, M. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: IMPACTO DA APLICAÇÃO ANTECIPADA DE NITROGÊNIO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Tangriani Simioni Assmann[1]*, Fabiola Ingrid Gabrieli Sessi Lopes[2], Alceu Luiz Assmann[3], Betânia Brum de Bortolli[1], Luís César Cassol[1]

[1]Professora/Pesquisador(a) Doutor(a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, [2]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, [3]Pesquisador, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR-PR

RESUMO

A adubação nitrogenada é essencial para a produtividade do milho (Zea mays L.). A antecipação da aplicação de N sobre a palhada de plantas de cobertura otimiza sua disponibilidade ao longo do ciclo produtivo. Este estudo avaliou a aplicação antecipada de N (150 kg ha^{-1}) sobre a palhada de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro, comparada à aplicação convencional em cobertura. O experimento foi conduzido no IDR-PR, Pato Branco, em Latossolo Vermelho. O delineamento experimental foi fatorial 2×4, com antecipação ou não da adubação e doses crescentes de N (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}) aplicadas em cobertura no milho. A antecipação resultou em maior produtividade (6.837 kg ha^{-1}) e peso de mil grãos (437 g). Além disso, quando o nitrogênio foi antecipado, não houve necessidade de aplicação de N em cobertura para atingir a máxima produtividade, tornando a prática mais eficiente e sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: plantio direto; ciclagem de nutrientes, manejo sustentável.

INTRODUÇÃO

A adubação de sistemas é uma abordagem que visa otimizar a eficiência do uso de nutrientes no solo, considerando a ciclagem biológica dos elementos entre diferentes fases da rotação de culturas. Diferentemente do modelo convencional de adubação, essa estratégia leva em conta o efeito residual dos fertilizantes e a influência da palhada e da microbiota na disponibilização dos nutrientes para as culturas subsequentes. Nesse contexto, a antecipação da adubação nitrogenada para o milho surge como uma alternativa promissora, especialmente em sistemas de plantio direto, onde a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nitrogênio (N) podem ser moduladas pela atividade microbiológica e pelas condições do solo.

A aplicação convencional de N no milho ocorre, em grande parte, em cobertura nos estádios V3 a V6, período de maior demanda do nutriente pela cultura. No entanto, essa prática pode apresentar desafios, como a dependência da umidade do solo para absorção eficiente e a necessidade de operações adicionais, aumentando custos e riscos ambientais, como volatilização de amônia e lixiviação de nitratos. Como alternativa, a antecipação da adubação nitrogenada propõe a aplicação do fertilizante antes da semeadura do milho, diretamente sobre a palhada da cultura antecessora.

Estudos realizados no sul do Brasil demonstraram que a aplicação antecipada de N pode ser tão eficiente quanto a adubação convencional em cobertura. Cassol *et al*. (2014) avaliaram diferentes épocas de aplicação de N no milho cultivado sob plantio direto e verificaram que a aplicação integral antes da semeadura não comprometeu a produtividade, apresentando desempenho semelhante ao da adubação parcelada tradicionalmente recomendada. Bertolini *et al*. (2008) compararam a antecipação da adubação nitrogenada com a aplicação no momento da semeadura e observaram que a produtividade do milho não foi influenciada pela época de aplicação, reforçando a hipótese de que a antecipação pode ser uma alternativa viável.

Outro fator relevante é o potencial da antecipação da adubação nitrogenada para mitigar impactos ambientais associados à aplicação de fertilizantes nitrogenados. A antecipação pode reduzir a volatilização da amônia e a lixiviação de nitratos, pois o N aplicado antes da semeadura pode ser parcialmente imobilizado

na matéria orgânica do solo e disponibilizado gradualmente à cultura. Fontaine *et al*. (2023) sugerem que práticas agrícolas que promovem a sincronia entre a oferta e a demanda de nutrientes podem melhorar a eficiência do uso do nitrogênio e minimizar impactos ambientais.

Dessa forma, o presente estudo avaliou o impacto da antecipação da adubação nitrogenada na produtividade do milho cultivado sobre a palhada de nabo forrageiro (Raphanus sativus), aveia (Avena sativa) e ervilhaca (Vicia villosa). A hipótese testada é que a antecipação do N pode suprir totalmente a demanda da cultura, tornando desnecessária a aplicação em cobertura e contribuindo para um sistema agrícola mais eficiente e sustentável.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR), polo de Pato Branco – PR, entre maio de 2022 e fevereiro de 2023. A área experimental está localizada a 26°07’31.00” S e 52°39’35.98” W, com altitude aproximada de 724 m. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa. O clima da região é Cfa (subtropical úmido), com temperatura média anual de 18,5 ºC e distribuição pluviométrica regular ao longo do ano.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com arranjo fatorial 2×4, com quatro repetições. O primeiro fator foi a antecipação da adubação nitrogenada, em que uma das parcelas principais recebeu 150 kg ha^{-1} de N aplicados sobre a palhada de um mix de plantas de cobertura composto por aveia, ervilhaca e nabo forrageiro, enquanto a outra parcela principal não recebeu essa aplicação. O segundo fator consistiu na adubação nitrogenada em cobertura no milho (0, 50, 100 e 150 kg N ha^{-1}), utilizando uréia como fonte.

O experimento foi implantado em sistema de plantio direto. O mix de plantas de cobertura foi semeado em 24 de maio de 2022. A dessecação ocorreu em 5 de setembro de 2022, utilizando glifosato (3,6 L ha^{-1}) e óleo vegetal adjuvante (1 L ha^{-1}). No tratamento com antecipação, a adubação nitrogenada de 150 kg N ha^{-1} foi aplicada, à lanço, no momento do plantio do milho. Após o manejo da palhada com rolo-faca, a semeadura do milho ocorreu em 9 de setembro de 2022, utilizando a cultivar NK467 VIP3, com espaçamento entre linhas de 0,8 m e densidade populacional de 75.000 plantas ha^{-1}.

A colheita do milho ocorreu em 27 de fevereiro de 2023, sendo realizada a coleta manual das parcelas, seguida pela avaliação das espigas e debulhação dos grãos para determinação da produtividade e das variáveis produtivas.

Foram avaliadas a produtividade de grãos, peso de mil grãos, número de fileiras por espiga e número de grãos por fileira. Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando necessário, foi aplicada análise de regressão para avaliar os efeitos das doses de N. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos softwares R e Genes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade do milho foi influenciada pela interação entre a antecipação da adubação nitrogenada e as doses de N aplicadas em cobertura. Quando o nitrogênio foi antecipado sobre a palhada das plantas de cobertura, a produtividade atingiu um valor máximo de 6.837 kg ha^{-1}. Já no manejo convencional, sem antecipação, a produtividade apresentou um incremento linear conforme o aumento das doses de N.

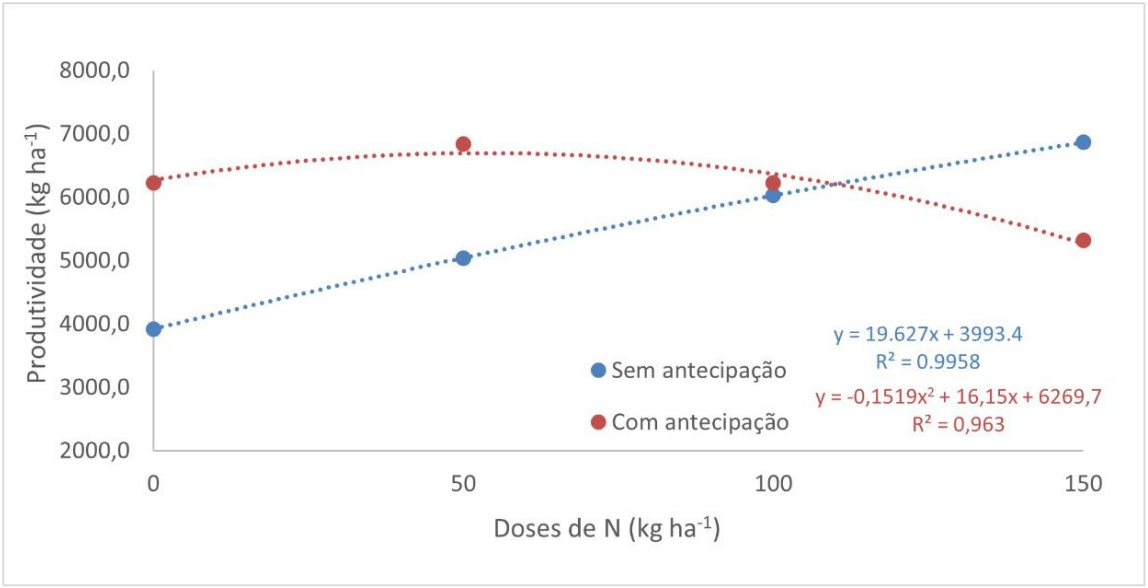


Figura 1. Produtividade do milho em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura nos tratamentos com e sem antecipação da adubação nitrogenada.

O peso de mil grãos também foi impactado pela antecipação da adubação nitrogenada. Nos tratamentos em que o N foi antecipado, o peso médio de mil grãos foi de 437 g, sem resposta significativa às doses adicionais de N em cobertura. No manejo sem antecipação, houve aumento do peso de mil grãos com o incremento das doses de N, mas o valor máximo atingido (419 g) ainda foi inferior ao observado na antecipação. Esses resultados indicam que a aplicação antecipada de N na palhada das plantas de cobertura foi suficiente para atender à demanda nutricional do milho, proporcionando um desenvolvimento mais uniforme dos grãos.

As variáveis número de fileiras por espiga e número de grãos por fileira não foram influenciadas pelos tratamentos, apresentando médias de 14 a 15 fileiras por espiga e 32 a 37 grãos por fileira. Esses resultados indicam que tais características são determinadas predominantemente por fatores genéticos do híbrido utilizado, conforme descrito por Toledo *et al*. (2010) e Goes *et al*. (2012).

Os benefícios observados na antecipação da adubação nitrogenada podem ser atribuídos à maior eficiência na disponibilização do nutriente, reduzindo perdas por volatilização e lixiviação, como apontado por Araújo *et al*. (2004). Além disso, a sincronização da liberação do N com o crescimento inicial do milho pode ter favorecido uma melhor absorção do nutriente, conforme relatado por Diekow (2000).

Esses achados corroboram estudos prévios que destacam a viabilidade da adubação antecipada como uma estratégia sustentável para sistemas de plantio direto, reduzindo a dependência de adubações em cobertura sem comprometer o rendimento da cultura (Momesso *et al*., 2019). A eliminação da necessidade de aplicação de N em cobertura nos tratamentos com antecipação representa uma vantagem econômica e operacional, otimizando o manejo da fertilização nitrogenada.

CONCLUSÕES

A antecipação da adubação nitrogenada se mostra uma estratégia eficiente para a cultura do milho, permitindo a liberação gradual do nutriente e eliminando a necessidade de aplicação de N em cobertura. Os resultados demonstram que essa prática mantém ou até melhora a produtividade e o peso de mil grãos, otimizando o aproveitamento do fertilizante. Além disso, a antecipação contribui para a simplificação do manejo da adubação, reduzindo custos operacionais e favorecendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas em plantio direto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Solos da UTFPR Campus Pato Branco pelo suporte técnico e pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 771–777, 2004.

BERTOLINI, E. V.; GAMERO, C. A.; SALATA, A. C.; PIFFER, C. R. Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2355-2366, 2008.

CASSOL, L. C.; ROCHA, K. F.; PIVA, J. T.; ARRUDA, J. H.; MINATO, E. A.; FAVERSANI, J. C. Épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho num Latossolo Vermelho muito argiloso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 273-284, 2014.

DIEKOW, J. **Antecipação da adubação nitrogenada em milho cultivado no sistema plantio direto, em sucessão à aveia preta.** 2000. 87 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

FONTAINE, S.; ABBADIE, L.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOOR, J. M. G.; DERRIEN, D.; DUCHENE, O.; GROSS, N.; HENNERON, L.; LE ROUX, X.; LOEUILLE, N.; MICHEL, J.; RECOUS, S.; WIPF, D.; ALVAREZ, G. Plant–soil synchrony in nutrient cycles: Learning from ecosystems to design sustainable agrosystems. **Global Change Biology**, v. 30, p. e17034, 2023.

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; VILELA, R. G. Nitrogênio em cobertura para o milho em sistema plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 2, p. 169–177, 2012.

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; VYN, T. J.; TANAKA, K. S.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CANTARELLA, H. Impacts of nitrogen management on no-till maize production following forage cover crops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 111, n. 2, p. 639-649, 2019.

TOLEDO, F. H.; CARDOSO, G. A.; ABREU, G. B.; RAMALHO, M. A. P**.** Controle genético do número de fileiras da espiga do milho. *In:* CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26., 2010, Goiânia. **Anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. p. 2820–2824.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: IMPACTOS DA APLICAÇÃO ANTECIPADA DE FÓSFORO NA CULTURA DA AVEIA PARA A SOJA EM SUCESSÃO

Joice Mari Assmann[1]*, João Paulo Borsatti[2], Alceu Luiz Assmann[1], Tangriani Simioni Assmann[3], Janaina Dartora[1]

[1]Pesquisador (a), Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná IAPAR-EMATER – IDR-Paraná; [2]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, [3]Professora/Pesquisador (a) Doutor (a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

RESUMO

O presente estudo avaliou os efeitos da adubação fosfatada antecipada na cultura da aveia branca sobre a disponibilidade de fósforo no solo e os componentes de rendimento da soja cultivada em sucessão. O experimento foi conduzido no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), em Pato Branco. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições em parcelas subdivididas: antecipação ou não da adubação fosfatada na semeadura da aveia (0 ou 150 kg ha^{-1} de P_2O_5) e doses crescentes de 0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 na semeadura da soja. Não foi constatada influência estatística dos tratamentos na produtividade da soja (4071,12 kg ha^{-1}). A antecipação da adubação fosfatada melhorou os teores de fósforo no solo que passaram de 4,55 mg dm^{-3} para 9,70 e 10,97 mg dm^{-3} sem e com aplicação de P_2O_5 na base do plantio da aveia, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: plantio direto; ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo; adubação fosfatada

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das commodities agrícolas mais importantes do Brasil, possuindo grande relevância econômica. Na safra de 2023/2024, a produção mundial atingiu 394,97 milhões de toneladas, com o Brasil contribuindo com cerca de 153 milhões de toneladas (USDA, 2024; CONAB, 2024). Este elevado nível de produção pode ser atribuído, inicialmente, aos avanços no melhoramento genético e ao desenvolvimento de cultivares adaptadas, bem como à implementação de novas tecnologias de manejo (DEBIASSI *et al*., 2013).

Além do melhoramento genético, o manejo da adubação desempenha um papel crucial na elevação da produtividade. A adubação da cultura pode ser realizada tanto no sulco de semeadura quanto na superfície do solo, levando em consideração o tipo de solo e a dinâmica dos nutrientes oferecidos (BARBOSA *et al*., 2015).

Entre as diversas formas de adubação, a adubação de sistemas tem sido amplamente discutida e é objeto de muitas discussões. Esta prática envolve a aplicação de fertilizantes durante períodos em que a cultura principal não está em desenvolvimento, como nas plantas de cobertura, com o objetivo de nutrir o solo. O Sistema Plantio Direto (SPD) e a introdução de culturas de cobertura viabilizam esta prática, aumentando a produção de biomassa, gerando maior acúmulo de matéria orgânica e cobrindo o solo, o que beneficia os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (PAVINATO; CERETTA, 2004; ASSMANN *et al*., 2017).

A ciclagem de nutrientes em SPD com plantas de cobertura é o principal processo que contribui para o sucesso na adubação de sistemas, pois consiste na absorção de nutrientes pelas plantas nas camadas subsuperficiais do solo. Quando essas plantas passam pelo processo de decomposição, os nutrientes são liberados e disponibilizados para a cultura seguinte. Esse processo oferece muitos benefícios, como a possibilidade de escalonar a aplicação de fertilizantes fora do período de cultivo da safra principal e a liberação gradual de fósforo pela mineralização da cobertura. No entanto, a adubação sistêmica com fósforo deve ser tratada com cautela, pois em solos com mineralogia caulinítica e oxídica, baixos níveis do nutriente

e baixo teor de matéria orgânica, a adsorção de fósforo às partículas do solo é alta e a contribuição do fósforo orgânico é baixa.

Portanto, o presente estudo avaliou o impacto da antecipação da adubação fosfatada na produtividade da soja cultivada sobre a palhada de aveia (*Avena sativa*). A hipótese testada é que a aplicação antecipada de fósforo pode suprir totalmente a demanda da cultura, tornando desnecessária a aplicação subsequente.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), na área experimental do Polo de Pesquisa e Inovação de Pato Branco. A localização geográfica é dada por suas coordenadas: latitude 26°07'31.00" S e longitude 52°39'35.98" W, com altitude aproximada em 724 m, realizado de maio do ano de 2023 até o mês de fevereiro de 2024. O clima da região onde foi realizado o experimento, se caracteriza como subtropical úmido (Cfb), com temperatura estimada em média de 18,5 °C. O solo do local é LATOSSOLO Vermelho aluminoférrico, composto por alto teor de argila e ácido naturalmente, ainda, seu perfil de solo é composto por leves ondulações.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com arranjo fatorial 2×4, com quatro repetições. O primeiro fator foi a antecipação da adubação nitrogenada, em que uma das parcelas principais recebeu 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicados na linha de plantio de aveia cultivar IPR Esmeralda, enquanto a outra parcela principal não recebeu essa aplicação. O segundo fator consistiu na adubação fosfatada na linha de semeadura da cultura da soja (0, 50, 100 e 150 kg P_2O_5 ha^{-1}), utilizando superfosfato simples como fonte.

O experimento foi implantado em sistema de plantio direto. As plantas de aveia para cobertura foram semeadas em 25 de maio de 2023. A dessecação ocorreu em 16 de outubro de 2023, 2,4-D nas doses de 3 L ha^{-1} e 1 L ha^{-1} de produto comercial, respectivamente. No tratamento com antecipação, a adubação fosfatada de 150 kg N ha^{-1} foi aplicada, a linha no momento do plantio da soja. Após o manejo da palhada com rolo-faca, a semeadura do ocorreu em 16 de outubro de 2023, utilizando a cultivar BMX Zeus IPRO, com a densidade de semeadura de 270.000 plantas ha^{-1} (13.5 sementes m^{-1}).

A colheita da soja foi realizada em 28 de fevereiro de 2023, sendo realizada a colheita para produtividade em uma área útil de 7,2 m^2 com a colhedora de parcelas, para os componentes de rendimento foi coletado aleatoriamente 10 plantas por parcela. Foram avaliadas a produtividade de grãos, peso de mil grãos, altura de planta, número de vagens por planta e número de grãos por vagem.

A amostragem de solo foi realizada antes da entrada de cada cultivo (cultura de cobertura ou cultura de grãos) com o auxílio de um trado calador, estratificadas nas profundidades de: 0-10; 10-20 e 20-40 cm. Os teores de P disponíveis foram determinados após extração em $Mehlich^{-1}$, conforme procedimentos descritos por Pavan *et al*. (1992).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando necessário, foi aplicada análise de regressão para avaliar os efeitos das doses de P_2O_5. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos softwares R e Genes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca da aveia não diferiu estatisticamente, apresentando valores médios de 5410 kg ha^{-1} sem aplicação de P_2O_5 e de 4870 kg ha^{-1} com a aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5, respectivamente. Esses resultados corroboram com Casali *et al*. (2016), que avaliaram a produção de matéria seca e concentração de fósforo em plantas de cobertura cultivadas em LATOSSOLO Vermelho sob plantio direto e cultivo convencional, encontrando produções de biomassa de 2.510 a 5.159 kg ha^{-1}.

Os valores médios de fósforo disponíveis no solo antes da instalação do experimento para a camada de 0-20 cm foram de 4,55 mg dm^{-3}. De acordo com o Manual de Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR,2017), indicam que os valores iniciais do solo estavam muito abaixo do

ideal para garantir uma nutrição adequada da cultura da soja. Após a aplicação da adubação fosfatada antecipada e a ciclagem promovida pelo cultivo da aveia, os valores médios de fósforo no solo aumentaram em todas as profundidades avaliadas. Na camada de 0-20 cm, os valores médios passaram de 4,55 mg dm^{-3} para 9,70 mg dm^{-3} quando não houve adubação antecipada com fósforo e de 10,97 mg dm^{-3} quando houve a aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 na base do plantio da aveia. Casali *et al*. (2016), também verificaram a ciclagem de fósforo quando do uso de aveia como planta de cobertura.

Esse aumento é um fator determinante para o desenvolvimento radicular da soja, uma vez que o fósforo é essencial para a formação e crescimento do sistema radicular, permitindo que a planta explore um maior volume de solo e tenha acesso a outros nutrientes e à água. A ciclagem de P promovida pela cultura da aveia desempenhou um papel importante nesse processo, evitando perdas por fixação no solo, especialmente em solos de textura argilosa, onde a imobilização de fósforo é um dos principais desafios. A disponibilização gradual de P a partir da biomassa da aveia pode ter contribuído para a manutenção de teores mais elevados ao longo do ciclo da soja.

A análise de variância realizada para os componentes de rendimento da soja revelou que nenhuma das variáveis avaliadas (altura de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de mil grãos e produtividade) foi influenciada estatisticamente por nenhum dos fatores e nem, por sua interação. Apresentando valores médios de altura de plantas de 78,49 cm; 37,13 vagens por planta; 2,26 grãos por planta, 154,59 g para peso de mil grãos e 4071,12 kg ha^{-1} de produtividade, respectivamente. Carvalho (2021) e Zanella (2019), avaliando os efeitos da adubação antecipada na cultura da aveia preta para a cultura sucessora soja, também não detectaram efeitos significativos no número de vagens por planta, número de vagens e peso de mil grãos.

Vieira *et al*. (2015) demonstram que, para alcançar altas produtividades em sistemas de Plantio Direto em solos argilosos do Centro-Sul do Brasil, as doses recomendadas de P atualmente podem ser insuficientes para atingir a faixa crítica do nutriente no solo. No presente experimento, a aplicação antecipada de fertilizantes provou ser uma estratégia eficaz para elevar os níveis de P a valores adequados, garantindo que a soja tenha um suprimento contínuo do nutriente durante todo o seu ciclo. Vieira *et al*. (2015) também destacam que o efeito da adubação fosfatada não é imediato e que a construção da fertilidade do solo pode levar anos para alcançar o equilíbrio necessário para manter altas produtividades. No entanto, ao antecipar a adubação na cultura da aveia, é possível obter respostas mais rápidas, pois a mineralização da biomassa da aveia libera o fósforo de maneira mais gradual e sustentável.

CONCLUSÕES

A adubação fosfatada antecipada na cultura da aveia branca mostrou-se uma estratégia viável e eficiente para melhorar a fertilidade do solo e manter bons níveis produtivos na cultura sucessora, a soja. Embora não tenha aumentado significativamente a produtividade proporcionou benefícios agronômicos e operacionais, destacando-se pela melhoria dos teores de P no solo.

BIBLIOGRAFIA

ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ASSMANN, A. L.; HUF, F. L.; LIMA, R. C. Adubação de sistemas em integração lavoura-pecuária. *In:* **CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA E ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL**. 2017. v. 4, p. 67–84. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321867672. Acesso em: 25 fev. 2025.

BARBOSA, N. C.; ARRUDA, E. M.; BROD, E.; PEREIRA, H. S. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 1, p.87-95, 2015.

CARVALHO, M. M. d. R. P. d. **Antecipação da adubação fosfatada na cultura da soja.** 2021. Acessado em: 19 jan. 2025. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8306/1/antecipacaoadubacaofosfatadasoja.pdf.

CASALI, C.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; DOS SANTOS, D.; CALEGARI, A. E PICCIN, R.. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo**. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água** [recurso eletrônico]. Cap. 2, p. 23-33, 2016.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. *Safra 2024/2025.* Brasília: CONAB, 2024.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; JUNIOR, A. A. B.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja**. Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n. 342. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

PAVAN, M. *et al*. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade Londrina: IAPAR,** 1992**.** Circular técnica, v. 76, 1992. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330496. Acesso em: 28 jan. 2025.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1779-1784, 2004.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Production - Soybeans. Disponível em: < https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000 >. Acesso em: 25 fev. 2025.

VIEIRA, R. C. B.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; MORAES, R. P.; CARNIEL, E. Adubação fosfatada para alta produtividade de soja, milho e cereais de inverno cultivados em rotação em Latossolos em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 794-808, 2015.

ZANELLA, R. **Efeito residual da antecipação da adubação, aplicada na cultura da aveia, sobre o desempenho agronômico da soja.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4096. Acesso em: 25 fev. 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: IMPACTOS DA APLICAÇÃO ANTECIPADA DE POTÁSSIO NA CULTURA DA AVEIA PARA A SOJA EM SUCESSÃO

Alceu Luiz Assmann[1]*, Lahura Ignes Giongo[2], Tangriani Simioni Assmann[3], Betânia Brum de Bortolli[3], Emanuel Pasqualotto[2]

[1]Pesquisador (a), Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), [2]Estudante de graduação ou pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, [3]Professora/Pesquisador (a) Doutor (a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

RESUMO

O potássio (K) é essencial para a produtividade da soja, e a antecipação de sua aplicação em culturas de cobertura pode otimizar a ciclagem do nutriente. Este estudo avaliou o efeito da adubação potássica antecipada, realizada no perfilhamento da aveia branca com 120 kg ha^{-1} de K_2O a lanço, sobre a produtividade da soja em sistema plantio direto. O experimento foi conduzido em um delineamento fatorial 2×4: antecipação ou não do K e quatro doses de K_2O aplicadas a lanço na semeadura da soja (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}). A antecipação resultou em produtividade média de 4150 kg ha^{-1}, enquanto as parcelas sem antecipação mostraram aumento quadrático, com máxima produtividade de 3900 kg ha^{-1} na dose de 120 kg ha^{-1} de K_2O. A antecipação favoreceu maior produtividade, demonstrando ser uma prática eficiente para reduzir a necessidade de potássio no plantio da soja e promover a sustentabilidade no manejo.

PALAVRAS-CHAVE: plantio direto; ciclagem de nutrientes, manejo sustentável.

INTRODUÇÃO

O potássio (K) é o segundo macronutriente mais exigido pela cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), desempenhando um papel essencial na fisiologia das plantas, incluindo a ativação de enzimas, a regulação osmótica e o transporte de fotoassimilados (MALAVOLTA, 2006). A eficiência da adubação potássica pode ser aumentada por meio de estratégias que favorecem a ciclagem do nutriente no solo, como a aplicação antecipada em culturas de cobertura, promovendo sua disponibilização gradual para a cultura sucessora (ASSMANN *et al*., 2017).

No sistema plantio direto (SPD), a utilização de plantas de cobertura, como a aveia branca (Avena sativa L.), tem se mostrado uma alternativa promissora para melhorar a reciclagem de nutrientes no solo (ZANELLA, 2019). A antecipação da adubação potássica nessa cultura pode potencializar a absorção do K pelas raízes e reduzir perdas por lixiviação, promovendo uma redistribuição eficiente do nutriente para a soja em sucessão (ROSOLEM *et al*., 2006). Essa estratégia pode ainda reduzir a necessidade de aplicações elevadas de potássio no momento do plantio da cultura comercial, melhorando a eficiência no uso do fertilizante e otimizando o custo de produção (FOLONI & ROSOLEM, 2008).

A dinâmica da decomposição da biomassa de culturas de cobertura influencia diretamente a liberação de potássio no solo, sendo que espécies como a aveia possuem um elevado potencial de ciclagem de nutrientes (CRUSCIOL *et al*., 2008). A liberação gradual do K, promovida pela decomposição da palhada, pode atender à demanda nutricional da soja ao longo de seu ciclo, reduzindo a necessidade de adubações complementares e minimizando impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes (SANTOS *et al*., 2009; INKOTTE *et al*., 2019).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os impactos da antecipação da adubação potássica na produtividade da soja cultivada em sucessão à aveia branca. A hipótese testada é que a aplicação antecipada do fertilizante pode melhorar a ciclagem do potássio no sistema, promovendo maior eficiência nutricional da cultura sucessora e contribuindo para um sistema agrícola mais sustentável e produtivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR), polo de Pato Branco – PR, entre maio de 2022 e fevereiro de 2023. A área experimental está situada a 26°07’31.00” S e 52°39’35.98” W, com altitude aproximada de 724 m. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa e acidez natural, enquanto o clima da região é subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 18,5 ºC e precipitação média de 1500 a 1800 mm.

Para a condução do estudo, adotou-se um delineamento em blocos ao acaso (DBC), estruturado em arranjo fatorial 2×4, com quatro repetições. O primeiro fator avaliou a antecipação ou não da adubação potássica na cultura de cobertura, onde uma das parcelas principais recebeu 120 kg ha^{-1} de K_2O aplicados a lanço no início do perfilhamento da aveia branca (*Avena sativa* L.), enquanto a outra não recebeu essa aplicação. O segundo fator envolveu a adubação potássica na semeadura da soja, com aplicação a lanço de doses crescentes de K_2O (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}), permitindo avaliar a influência do manejo na ciclagem de nutrientes e no rendimento da cultura sucessora.

A aveia branca foi semeada em 25 de maio de 2024, utilizando a cultivar IPR Esmeralda, com uma densidade de 40 kg ha^{-1} de sementes comerciais. A dessecação da aveia foi realizada antes do plantio da soja, em 02 de outubro de 2024, utilizando glifosato (3 L ha^{-1}) + 2,4-D (1 L ha^{-1}).

A semeadura da soja foi realizada em 16 de outubro de 2024, utilizando a cultivar BMX Zeus IPRO, com uma densidade de 270.000 plantas ha^{-1}. A adubação de base consistiu na aplicação de 220 kg ha^{-1} de superfosfato triplo na linha de plantio e 50 kg ha^{-1} de nitrogênio na forma de uréia, aplicados a lanço.

As avaliações agronômicas foram realizadas ao longo do ciclo das culturas. Para a aveia, foi determinado o acúmulo de matéria seca aos 140 dias após a semeadura (DAS), coletando-se amostras de 0,25 m^2 por parcela. Para a soja, foram avaliadas as variáveis: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de mil grãos e produtividade de grãos (kg ha^{-1}).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e ao teste de independência dos erros de Durbin-Watson. Posteriormente, foi realizada análise de variância pelo teste F, e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software RStudio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade da soja foi influenciada pela interação entre a antecipação da adubação potássica na aveia e as doses de K_2O aplicadas na semeadura da cultura comercial (Figura 1). Nos tratamentos onde a adubação potássica foi antecipada, a produtividade da soja se manteve estável, com média de 4150 kg ha^{-1}, sem resposta significativa ao aumento das doses de K_2O aplicadas no plantio. Já nas parcelas sem antecipação, a produtividade apresentou um comportamento quadrático, aumentando até a dose de 120 kg ha^{-1} de K_2O, com um valor máximo próximo de 3900 kg ha^{-1}, seguido de um leve declínio na dose de 180 kg ha^{-1}.

O modelo de regressão sugere que a antecipação da adubação potássica pode reduzir a dependência da soja em aplicações elevadas de potássio no plantio, garantindo um suprimento mais eficiente do nutriente ao longo do ciclo da cultura. Esses resultados corroboram estudos de Foloni & Rosolem (2008) e Crusciol *et al*. (2008), que destacaram a capacidade da aveia branca em ciclar potássio e disponibilizá-lo gradualmente para a cultura sucessora.

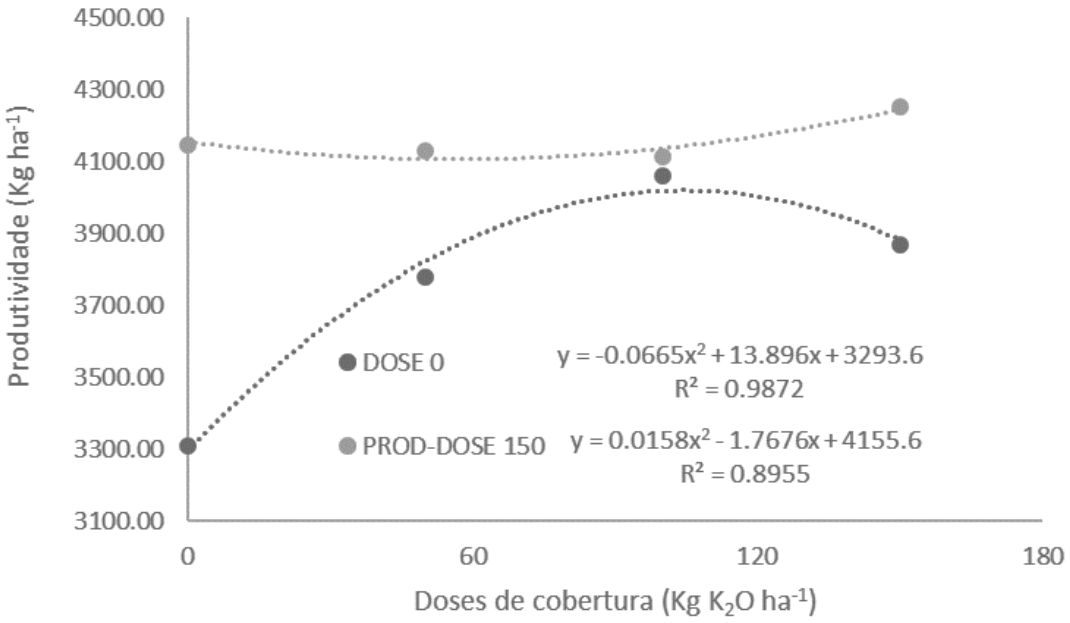


Figura 1. Produtividade de soja em função das doses de potássio aplicadas à lanço no plantio da cultura da soja nos tratamentos com e sem antecipação da adubação potássica aplicada à lanço no perfilhamento da cultura de aveia.

A análise dos componentes de rendimento da soja revelou que o número de vagens por planta (NVP) e o número de grãos por vagem (NGV) foram significativamente influenciados pela interação entre a antecipação da adubação potássica e as doses de cobertura. No tratamento com antecipação da adubação e aplicação de 120 kg ha^{-1} de K_2O na soja, a soja apresentou 32,5 vagens por planta, enquanto nas parcelas sem antecipação a média foi 30,1 vagens por planta. A liberação gradual do potássio pela decomposição da biomassa da aveia parece ter favorecido um melhor desenvolvimento reprodutivo da soja, garantindo maior retenção de vagens.

O número de grãos por vagem (NGV) apresentou estabilidade nos tratamentos com antecipação da adubação potássica, mantendo uma média de 2,35 grãos por vagem, independentemente da dose aplicada na soja. Nos tratamentos sem antecipação, observou-se uma variação maior, com valores entre 2,24 e 2,33 grãos por vagem, sugerindo que a ciclagem do potássio via aveia branca contribuiu para reduzir oscilações nutricionais ao longo do ciclo da soja.

Já o peso de mil grãos (PMG) e a altura de plantas (AP) não foram significativamente afetados pelos tratamentos, apresentando médias de 175,1 g a 175,9 g para o PMG e 80,8 cm a 83,4 cm para a altura das plantas. Resultados semelhantes foram relatados por Zanella (2019), indicando que essas características são predominantemente determinadas pelo potencial genético da cultivar utilizada.

CONCLUSÕES

A antecipação da adubação potássica na aveia branca mostrou-se uma estratégia eficiente para o suprimento nutricional da soja, garantindo alta produtividade e estabilidade nos rendimentos, independentemente das doses de potássio aplicadas na semeadura. Além disso, influenciou positivamente os componentes de rendimento, promovendo maior número de vagens por planta e grãos por vagem, sem afetar o peso de mil grãos. Esses resultados indicam que a ciclagem do potássio via biomassa da aveia contribui para um manejo mais eficiente e sustentável, reduzindo a necessidade de aplicações elevadas no plantio da soja e otimizando o uso do fertilizante em sistemas de plantio direto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Solos da UTFPR Campus Pato Branco pelo suporte técnico e pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ASSMANN, A. L.; HUF, F. L.; LIMA, R. C. Adubação de sistemas em integração lavoura-pecuária. *In:* **CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA E ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL**. 2017. v. 4, p. 67–84. Disponível em: https://encurtador.com.br/AEDD2. Acesso em: 20 fev. 2025.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 481–489, 2008.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 18, p. 4–7, 2008.

INKOTTE, J.; MARTINS, R. C. C.; SCARDUA, F. P.; PEREIRA, R. S. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado: uma revisão sistemática. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, p. 988–1003, jun. 2019.

MALAVOLTA, E**. Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.

ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milheto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 813–819, out. 2006.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 925, 2009.

ZANELLA, R. **Efeito residual da antecipação da adubação, aplicada na cultura da aveia, sobre o desempenho agronômico da soja**. 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/4096. Acesso em: 20 mai. 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA NA CULTURA ANTERIOR AUMENTA A PRODUTIVIDADE DA SOJA

Jeferson Kviatkoski[1] Kleber Henrique Cabrini Junior[2]; Mayara Scibor Amaral[3*]; Bruna Ramalho[4]; Marcos Antonio Dolinski[5].

[1,2,3] Estudante de graduação na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR *mayarascibor@gmail.com, [4,5] Professor na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR.

RESUMO

A soja é a principal *commodity* agrícola do Brasil, destacando-se pelo notável crescimento de produtividade nas últimas duas décadas. A dependência do Brasil em relação às importações de KCl representa um desafio econômico significativo para os produtores. Este trabalho teve por objetivo avaliar fontes de potássio (cloreto de potássio e silicato de potássio) e época de aplicação (na aveia-preta (33 %) e na soja (67%) ou na soja (100%)) no crescimento e produção da soja. O experimento foi realizado em delineamento de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e três repetições. Foram avaliados na colheita (R8), o número de legumes por planta, o número de grãos por legume, a massa de mil grãos e a produção por planta. Com os resultados obtidos conclui-se que a aplicação de silicato de potássio (KSi) na soja aumenta o número de legumes por planta, o número de grãos por planta e a produtividade quando comparada a aplicação de cloreto de potássio (KCl). A adubação de potássio na soja na forma de cloreto de potássio (KCl) não deve ser antecipada na cultura de inverno.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max;* cloreto de potássio; silicato de potássio.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é cultivada em todas as regiões do país, de grande importância para a economia nacional e global (Colussi *et al*., 2016). Além de ser uma fonte essencial de proteína vegetal para a fabricação de rações animais e para a alimentação humana (MAPA, 2014), a soja é responsável por uma parcela significativa da produção agrícola brasileira, consolidando o país como líder mundial, seguido de Estados Unidos, Argentina e China (FAO, 2023). Segundo o USDA, a produção mundial na última safra 2022/23 foi de 369,0 milhões de toneladas em uma área de 136,029 milhões de hectares plantados. Sendo o Brasil responsável por 41,9% desta produção, alcançando 154,6 milhões de toneladas em uma área de 44,8 milhões de hectares plantados (CONAB, 2024). Para manter e ampliar esse cenário é essencial compreender e otimizar os fatores que influenciam o rendimento da cultura da soja. Dentre esses fatores, destaca-se a importância do potássio (K), o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas, após o nitrogênio (Bang *et al*., 2020).

O potássio desempenha diversas funções vitais nas plantas, desde a regulação osmótica até a ativação de enzimas essenciais para o metabolismo vegetal (Ashfaq *et al*., 2015; Bang *et al*., 2020; Sardans & Peñuelas, 2021). Dentre as fontes de potássio o cloreto de potássio (KCl) é amplamente utilizado na agricultura como fonte solúvel de potássio, tendo o cloro como íon acompanhante (Oliveira, 2014). Esse fertilizante se destaca pela sua alta solubilidade, proporcionando uma rápida disponibilidade de potássio para as plantas, além de uma concentração elevada que facilita a logística e distribuição, no entanto, é necessário o manejo equilibrado do KCl para evitar impactos adversos como salinização e o acúmulo excessivo de cloro no solo (Carvalho & Kazama, 2013; Paula *et al*., 2020).

Embora o cloreto de potássio (KCl) seja amplamente utilizado na adubação potássica, a sua dependência de importações e flutuações nos preços internacionais representam desafios para os produtores.

Diante desse contexto, é importante avaliar alternativas ao cloreto de potássio, considerando não apenas a eficiência agronômica, mas também aspectos econômicos e ambientais. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da antecipação das fontes de potássio (cloreto de potássio e silicato de potássio) durante a cultura anterior (33% na aveia-preta e 67% na soja ou 100% na soja) na produtividade da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área comercial, localizada no município de Palmeira, Paraná, nas coordenadas 25°21'S, 50°07'O, na altitude média de 880 metros. As características químicas e físicas do solo anteriormente a instalação do experimento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 2. Análise química e física do solo anteriormente a instalação do experimento, na profundidade de 0 a 20 cm de profundidade.

Profundidade (cm)	pH	M.O	H+Al	Ca	Mg	K	P	CTC	V	Sat Ca	Argila	Areia	Silte
	($CaCl_2$)	dag/kg	--------- cmolc/dm³-------				resina	---------- % ----------					
0-20	5,3	3,5	41,3	41,3	13	4,3	48	99,9	58,7	70,5	26,7	57,5	15,9

A cultivar de soja utilizada foi a Brasmax Zeus IPRO, com a semeadura realizado no dia 06 de novembro de 2023, utilizando um conjunto trator-semeadora-fertilizante com nove linhas, em área anteriormente cultivada com aveia-preta (*Avena strigosa*) para formação de palhada, que durante o perfilhamento dessa cultura iniciou-se a aplicação dos tratamentos. No sulco de plantio foi aplicado 135 kg ha^{-1} de 11 - 52 - 00 resultando em 14,85 kg ha^{-1} de N, 70 kg ha^{-1} de P2O5, e 00 kg ha^{-1} de K2O.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizado (DBC), com cinco tratamentos e três repetições, cada unidade experimental foi constituída de área total de 40 m^2, excluindo as fileiras das extremidades em um metro (bordaduras). Os tratamentos utilizados consistiram de duas fontes de potássio: cloreto de potássio (KCl) com 60 % de K_2O ou silicato de potássio (KSi) com 12,0 % de K_2O, 25 % de Si, 0,06 % de Ca, 0,1 5% de Mn, 0,01 % de Zn e 0,10 % de Mg e duas épocas de aplicação na época de perfilhamento da aveia-preta (33 %) e na semeadura da soja (67 %) ou na soja (100 %). Os tratamentos utilizados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 3. Quantidade de K2O aplicado por tratamento (kg ha^{-1}) e época de aplicação, duas fontes de potássio utilizadas: 1. Cloreto de potássio (KCl) com 60% de K2O ou 2. Silicato de potássio (KSi) com 12% K2O e 25% Si, em duas épocas de aplicação: 1. No afilhamento da cultura da aveia-preta (safra 2023) ou 2. Na semeadura da cultura da soja (safra 2023/24).

Tratamento	Afilhamento da aveia-preta	Semeadura da soja
Testemunha	0 kg de K_2O ha^{-1}	0 kg de K_2O ha^{-1}
KCl aveia-preta + soja	50 kg de K_2O ha^{-1}	100 kg de K_2O ha^{-1}
KCl soja	0 kg de K_2O ha^{-1}	150 kg de K_2O ha^{-1}
KSi aveia-preta + soja	50 kg de K_2O ha^{-1}	100 kg de K_2O ha^{-1}
KSi soja	0 kg de K_2O ha^{-1}	150 kg de K_2O ha^{-1}

Na colheita (R8) foram avaliados o número de legume por planta, o número de grãos por legume, a massa de mil grãos (corrigido para 13 % de umidade) e a produção por planta.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e quando estes foram significativos, ao nível de 5 % de probabilidade, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey utilizando-se o programa Sisvar® versão 5.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao número de grãos por legume, os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que o tratamento com KSi produziu um número superior de grãos por legume em comparação com os outros tratamentos.

Tabela 4. Número de legumes com diferentes números de grãos para cultura da soja com aplicação de duas fontes de potássio (cloreto de potássio (KCl) e silicato de potássio (Ksi)) e duas épocas de aplicação (no afilhamento da aveia-preta e na semeadura da soja), no muicípio de Palmeira - PR, durante a safra 2023/24.

Tratamento	1 grão	2 grãos	3 grãos	4 grãos
Testemunha	2,6 c	9,3 c	20,3 d	0,8 c
KCl aveia-preta	4,0 bc	11,0 c	20,6 d	1,3 c
KCl soja	4,9 ab	16,2 b	27,9 c	2,6 c
KSi aveia-preta	6,2 a	21,4 a	43,5 a	3,8 a
KSi soja	5,1 a	17,4 b	35,3 b	3,2 ab

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tuke ao nível de 5 % de probabilidade.

O tratamento KSi aveia-preta, apresentou os melhores resultados em todas as categorias de grãos por legume, sendo superior aos outros tratamentos para três grãos, dois grãos e um grão. Para quatro grãos (3,8), foi semelhante ao tratamento KSi soja (3,2), ambos superiores aos demais tratamentos. O tratamento com KSi na soja também apresentou resultados positivos, sendo superior aos tratamentos com KCl e à testemunha em todas as categorias, exceto para quatro grãos, onde teve diferença apenas em relação ao KCl aveia-preta e a testemunha.

Para as variáveis de produtividade, massa de mil grãos os resultados indicam que não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 4). Para as demais variáveis número de legumes por planta, número de grãos por planta, e produtividade apresentaram as mesmas diferenças, onde KSi aveia-preta foi superior aos demais tratamentos (Tabela 4). Os resultados indicam que tanto para variáveis de crescimento quanto de produção a aplicação de silicato de potássio (KSi) foi superior quando comparara a fonte mais utilizada no país de potássio o cloreto de potássio (KCl).

Em relação ao número de grãos por legume, os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que o tratamento com KSi produziu um número superior de grãos por legume em comparação com os outros tratamentos.

O tratamento KSi aveia-preta, apresentou os melhores resultados em todas as categorias de grãos por legume, sendo superior aos outros tratamentos para três grãos, dois grãos e um grão. Para quatro grãos (3,8), foi semelhante ao tratamento KSi soja (3,2), ambos superiores aos demais tratamentos. O tratamento com KSi na soja também apresentou resultados positivos, sendo superior aos tratamentos com KCl e à testemunha em todas as categorias, exceto para quatro grãos, onde teve diferença apenas em relação ao KCl aveia-preta e a testemunha.

Tabela 5. Número de legumes por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade para cultura da soja com aplicação de duas fontes de potássio (cloreto de potássio (KCl) e silicato de potássio (Ksi)) e duas épocas de aplicação (afilhamento da aveia-preta e na semeadura da soja), no muicípio de Palmeira - PR, durante a safra 2023/24.

Tratamento	Número de legumes por planta	Número de grãos por planta	Massa de mil grãos (g)	Produtividade (kg ha^{-1})
Testemunha	33,9 d	85,2 d	205 a	5.589 d
KCl aveia-preta	35,9 d	92,0 d	213 a	6.271 d
KCl soja	51,6 c	131,4 c	212 a	8.914 c
KSi aveia-preta	74,9 a	194,6 a	227 a	14.135 a
KSi soja	61,1 b	158,6 b	224 a	11.368 b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tuke ao nível de 5 % de probabilidade.

CONCLUSÕES

A antecipação parcial do potássio na forma de silicato de potássio (KSi) durante o afilhamento da aveia-preta, aumenta o número de legumes com dois, três e quatro grãos, o número de legumes por planta, o número de grãos por planta e a produtividade da soja.

A aplicação de silicato de potássio (KSi) na soja aumenta o número de legumes por planta, o número de grãos por planta e a produtividade quando comparada a aplicação de cloreto de potássio (KCl).

A adubação de potássio na soja na forma de cloreto de potássio (KCl) não deve ser antecipada na cultura de inverno.

BIBLIOGRAFIA

AMARAL Filho, J. P. R.; Fornasieri Filho, D.; Farinelli, R.; Barbosa, J. C. **Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.467-473, 2005.

ASHFAQ, M.; AHMED, N.; KHAN, A. **International Journal of Plant Biology**, v. 5, n. 2, p. 45-52, 2016.

BANG, K.; SMITH, J.; JOHNSON, L. **Journal of Soil Science**, v. 71, n. 4, p. 320-335, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Relatório anual sobre a produção de soja.** Brasília, DF: MAPA, 2014.

CARVALHO, A.; KAZAMA, R. **Journal of Environmental Science**, v. 27, n. 3, p. 430-445, 2021.

COLUSSI, R.; MARODIN, G. A. B.; BELING, R. R. **Revista Brasileira de Economia Agrícola**, v. 69, n. 3, p. 120-135, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo terceiro levantamento.** Brasília, DF: CONAB, 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **World soybean production statistics 2022/2023.** Roma: FAO, 2023.

OLIVEIRA, R. **Journal of Agricultural Science**, v. 35, n. 2, p. 210-225, 2019.

REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL. **Materiais alternativos para adubação potássica.** Revista de Agricultura Neotropical, v. 45, n. 2, p. 150-165, 2022.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 689340, 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AUMENTO DO CRESCIMENTO VEGETATIVO DA SOJA COM A ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA DURANTE A CULTURA DE INVERNO

Jeferson Kviatkoski[1]; Kleber Henrique Cabrini Junior[1]; Brian Thiago Defert[1*]; Bruna Ramalho[2]; Marcos Antonio Dolinski[2].

[1,2,3]Estudante de graduação na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR *briantdefert.contato@gmail.com, [4,5]Professor na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR.

RESUMO

A soja é a principal commodity agrícola do Brasil, com grande aumento de produtividade nas últimas duas décadas. Entretanto, a dependência da importação de cloreto de potássio (KCl) representa um desafio econômico. Este estudo avaliou fontes de potássio (cloreto de potássio (KCl) e silicato de potássio (KSi)) e épocas de aplicação (33% na aveia-preta e 67% na soja ou 100% na soja) no crescimento da soja. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e três repetições. No início do florescimento, foram analisados altura da parte aérea, número de ramificações, diâmetro da haste e crescimento da raiz principal. Os resultados mostraram que a aplicação de KSi na aveia-preta aumentou a altura da parte aérea, diâmetro da haste, crescimento da raiz e o número de vagens. Já o KSi na soja elevou o número de ramificações. A adubação antecipada com KCl não apresentou nenhum benefício.

PALAVRAS-CHAVE: soja; potássio; adubação antecipada.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max*) está presente em todas as regiões do Brasil e desempenha um papel fundamental na economia nacional e mundial (Colussi *et al*., 2016). O país se destaca como um dos maiores produtores globais, ocupando uma posição de liderança ao lado dos Estados Unidos, Argentina e China (FAO, 2023). De acordo com o USDA, na safra 2022/23, a produção mundial foi estimada em 369,0 milhões de toneladas, distribuídas em 136,029 milhões de hectares cultivados. O Brasil foi responsável por 41,9% desse total, atingindo 154,6 milhões de toneladas em uma área plantada de 44,8 milhões de hectares (CONAB, 2024).

A manutenção dessa expressiva produtividade exige a compreensão dos fatores que impactam diretamente o rendimento da cultura, sendo a nutrição mineral um dos aspectos essenciais. O potássio (K) destaca-se como o segundo nutriente mais exigido pela soja, ficando atrás apenas do nitrogênio (Bang *et al*., 2020). Esse elemento é crucial para diversos processos fisiológicos das plantas, incluindo a regulação osmótica e a ativação enzimática, fundamentais para o metabolismo vegetal (Ashfaq *et al*., 2015; Bang *et al*., 2020; Sardans & Peñuelas, 2021).

Apesar da ampla utilização do KCl na adubação potássica, sua dependência do mercado externo e a volatilidade dos preços internacionais representam desafios para a agricultura brasileira. Em 2022, a demanda nacional por K2O atingiu 6,8 milhões de toneladas, enquanto a produção interna foi de apenas 240 mil toneladas, o que equivale a menos de 4% da necessidade total. Isso resultou em um gasto superior a USD 3,0 bilhões com importações (Costa, 2024).

Diante desse contexto, torna-se relevante a busca por fontes alternativas de potássio, especialmente aquelas obtidas por processos naturais, sem o uso de reagentes químicos. Entre essas opções, destaca-se o fonolito, uma rocha de origem vulcânica rica em macro e micronutrientes (Revista de Agricultura Neotropical, 2022). Além de fornecer potássio, o fonolito contém silício, um elemento benéfico para as plantas por auxiliar na redução da perda de água, reforçando a estrutura da cutícula e das paredes celulares, o que favorece a manutenção da hidratação e da eficiência fotossintética em períodos de estresse hídrico (Pereira *et al*., 2019).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da antecipação das fontes de potássio (cloreto de potássio e silicato de potássio) durante a cultura a cultura de inverno (33% na aveia-preta e 67% na soja ou 100% na soja) no crescimento da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área comercial no município de Palmeira, Paraná, situada nas coordenadas 25°21'S e 50°07'O, com altitude média de 880 metros. As propriedades químicas e físicas do solo antes da instalação do experimento estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química e física do solo anteriormente à instalação do experimento, na profundidade de 0 a 20 cm de profundidade.

Profundidade (cm)	pH	M.O	H+Al	Ca	Mg	K	P	CTC	V	Sat Ca	Argila	Areia	Silte
	($CaCl_2$)	dag/kg	--------- cmolc/dm³------				resina	---------- % ----------					
0-20	5,3	3,5	41,3	41,3	13	4,3	48	99,9	58,7	70,5	26,7	57,5	15,9

A cultivar de soja utilizada foi a Brasmax Zeus IPRO, semeada em 06 de novembro de 2023, com um trator acoplado a uma semeadora-fertilizante de nove linhas. A área havia sido anteriormente cultivada com aveia-preta (*Avena strigosa*) para formação de palhada, e os tratamentos foram iniciados durante o perfilhamento dessa cultura. No sulco de plantio, aplicou-se 135 kg ha^{-1} de 11-52-00, fornecendo 14,85 kg ha^{-1} de N, 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 0 kg ha^{-1} de K_2O.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e três repetições. Cada parcela experimental tinha 40 m², desconsiderando um metro das fileiras das extremidades (bordaduras). Os tratamentos envolveram duas fontes de potássio: cloreto de potássio (KCl), contendo 60% de K_2O, e silicato de potássio (KSi), composto por 12,0% de K_2O, 25% de Si, 0,06% de Ca, 0,15% de Mn, 0,01% de Zn e 0,10% de Mg. As aplicações foram realizadas em dois momentos: 33% no perfilhamento da aveia-preta e 67% na semeadura da soja, ou 100% na soja. Os detalhes dos tratamentos estão na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de K_2O aplicado por tratamento (kg ha^{-1}) e época de aplicação, duas fontes de potássio utilizadas: 1. Cloreto de potássio (KCl) com 60 % de K2O ou 2. Silicato de potássio (KSi) com 12 % K_2O e 25 % Si, em duas épocas de aplicação: 1. Afilhamento da aveia-preta (safra 2023) ou 2. Semeadura da soja (safra 2023/24).

Tratamento	Afilhamento da aveia-preta	Semeadura da soja
Testemunha	0 kg de K_2O ha^{-1}	0 kg de K_2O ha^{-1}
KCl aveia-preta + soja	50 kg de K_2O ha^{-1}	100 kg de K_2O ha^{-1}
KCl soja	0 kg de K_2O ha^{-1}	150 kg de K_2O ha^{-1}
KSi aveia-preta + soja	50 kg de K_2O ha^{-1}	100 kg de K_2O ha^{-1}
KSi soja	0 kg de K_2O ha^{-1}	150 kg de K_2O ha^{-1}

Foram avaliados na fase de início de florescimento (R1) a altura da parte aérea da planta, o número de ramificações, o diâmetro da haste e o crescimento da maior raiz.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando estes foram significativos, ao nível de 5 % de probabilidade, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey utilizando-se o programa Sisvar® versão 5.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável altura da parte aérea, o tratamento com fonolito (KSi aveia + soja), demonstrou resultados estatísticos superiores em comparação com a testemunha e o uso de cloreto de potássio (KCl) (Tabela 3). Este benefício pode ser atribuído aos efeitos positivos do silício, que fortalece as células vegetais, aumentando a resistência das plantas ao estresse e promovendo seu crescimento (Santos *et al*., 2017; Pereira *et al*., 2019).

Tabela 3. Altura da parte aérea, diâmetro da haste, número de ramificações e crescimento da maior raiz para cultura da soja com aplicação de duas fontes de potássio (cloreto de potássio (KCl) e silicato de potássio (KSi) e duas épocas de aplicação (no afilhamento da aveia-preta e na semeadura da soja), no município de Palmeira - PR, durante a safra 2023/24.

Tratamento	Altura da parte aérea (cm)	Diâmetro da haste (mm)	Número de ramificações	Crescimento da maior raiz (cm)
Testemunha	71,7 d	0,33 b	16,9 c	27,83 c
KCl aveia-preta	77,76 c	0,35 b	14,83 c	23,56 bc
KCl soja	79,63 bc	0,35 ab	16,06 c	20,56 c
KSi aveia-preta	84,86 a	0,39 a	21,36 b	28,70 a
KSi soja	82,56 ab	0,39 a	26,90 a	26,20 ab

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Para o diâmetro da haste, não houve diferença entre KSi na soja e KSi na aveia-preta, ambos apresentaram resultados superiores aos tratamentos com KCl na aveia-preta, e à testemunha, não diferindo de KCl na soja (Tabela 3)

Em relação ao número de ramificações, o uso de KSi soja foi superior aos demais tratamentos, e KSi aveia-preta foi superior aos demais tratamentos, exceto para KSi aveia-preta. Esses resultados reforçam a eficácia do silício, proporcionando benefícios consistentes independentemente da época de aplicação (Tabela 3).

Em relação ao tamanho da maior raiz, observou-se que o cloreto de potássio (KCl) teve um efeito adverso tanto no tratamento KCl aveia-preta quanto no tratamento KCl soja. Em contraste, o uso de fonolito (KSi) apresentou uma melhoria significativa no desenvolvimento radicular em comparação ao KCl (Tabela 4).

A superioridade do KSi pode ser atribuída em parte pela menor salinidade em comparação com o KCl, o qual é conhecido por afetar negativamente o desenvolvimento radicular de culturas (Malavolta *et al*., 2002; Singh *et al*., 2015).

CONCLUSÕES

Na cultura da soja, a aplicação antecipada de potássio na forma de silicato de potássio (KSi) durante o afilhamento da aveia-preta promove o aumento da altura da parte aérea, estimula a emissão de ramificações e favorece o crescimento radicular.

A aplicação de silicato de potássio na soja favorece um maior número de ramificações em comparação ao uso de cloreto de potássio.

A adubação com cloreto de potássio não deve ser antecipada na cultura de inverno.

BIBLIOGRAFIA

ASHFAQ, M.; AHMED, N.; KHAN, A. **International Journal of Plant Biology**, v. 5, n. 2, p. 45-52, 2016.

BANG, K.; SMITH, J.; JOHNSON, L. **Journal of Soil Science**, v. 71, n. 4, p. 320-335, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Relatório anual sobre a produção de soja**. Brasília, DF: MAPA, 2014.

BRASIL. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**. Presidência da República, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021. Recuperado de: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/planos/plano-nacional-fertilizantes/%40%40download/file/Plano-Nacional-Fertilizantes.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.

CARVALHO, A.; KAZAMA, R. **Journal of Environmental Science**, v. 27, n. 3, p. 430-445, 2021.

COLUSSI, R.; MARODIN, G. A. B.; BELING, R. R. **Revista Brasileira de Economia Agrícola**, v. 69, n. 3, p. 120-135, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo terceiro levantamento**. Brasília, DF: CONAB, 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **World soybean production statistics 2022/2023**. Roma: FAO, 2023.

COSTA, Luana. **Análise da dependência brasileira de fertilizantes**. Universidade Federal de Alfenas, 2024. Recuperado de: https://www.unifal-mg.edu.br/ceem/wp-content/uploads/sites/195/2024/10/TCC-Luana-Costa-Analise-da-Dependencia-Brasileira-de-Fertilizantes.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; OLIVEIRA, S. **Journal of Plant Physiology**, v. 45, n. 3, p. 310-325, 2020.

OLIVEIRA, R. **Journal of Agricultural Science**, v. 35, n. 2, p. 210-225, 2019.

PAULA, J.; ALVES, C.; TORRES, L. **Journal of Soil and Water Management**, v. 45, n. 1, p. 76-89, 2020.

PEREIRA, R.; SOUZA, L.; ALMEIDA, M. **Journal of Crop Science**, v. 50, n. 2, p. 180-195, 2018.

PEREIRA, Alexandre Igor; CURVELO, Carmen; CAIXETA, Vanessa; NANUCI, Ricardo; CANTUÁRIO, Fernando; SALOMÃO, Leandro. **Contribuição do silicato de potássio na redução da interferência de Cyperus rotundus em Cucumis sativus**. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.22533/at.ed.4251904047.

REVISTA BRASILEIRA DE ECONOMIA AGRÍCOLA (RBEA). **Situação atual da produção agrícola no Brasil**. **Revista Brasileira de Economia Agrícola**, v. 67, n. 4, p. 120-135, 2021.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 689340, 2021.

SINGH, D.; PANDEY, R.; SHARMA, S. **Journal of Agricultural Research**, v. 21, n. 2, p. 430-445, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA CULTURA DA SOJA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Vinicius Zucchi Lovatto[1*], Luís César Cassol[2], Rian Augusto Mitrut[1], Laura Ignes Giongo[1], Felipe Pellegrini Müller[1]

[1] Estudante de graduação em Agronomia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. * E-mail: viniciuslovatto@alunos.utfpr.edu.br; [2] Docente do Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

RESUMO

Em áreas extensas pouco declivosas a aplicação de fósforo à lanço é uma opção, buscando velocidade operacional. O objetivo foi comparar fósforo à lanço e no sulco de plantio, no desempenho da soja, usando delineamento de blocos casualizados com quatro tratamentos (100% do fósforo na linha, 50% a lanço e 50% na linha, 100% a lanço e uma testemunha sem fósforo) e quatro repetições. Usou-se a cultivar de soja PIONEER 95Y02IPRO e os resultados comparados por Tukey a 5%. Os modos de adubação não afetaram o fósforo nas folhas, a altura das plantas, a massa de mil grãos, o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem, porém o rendimento de grãos foi maior com a aplicação de 100% do P, tanto a lanço como em linha. Em solo com teor muito alto de fósforo qualquer modo de adubação é eficiente, optando-se pelo de menor custo.

PALAVRAS-CHAVE: adubação fosfatada; lanço e linha; rendimento operacional; rendimento de grãos.

INTRODUÇÃO

O fósforo é componente de fosfato-açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, fosfolipídios, componentes de nucleotídeos que integram o metabolismo energético, DNA e RNA. Considerando que a absorção do elemento se dá pelas formas aniônicas ($H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-}), a deficiência do mesmo gera problemas na armazenagem de energia e integridade estrutural da planta, e as plantas apresentam sintomas de coloração arroxeada nas folhas mais velhas, por ser um elemento móvel na planta, e apresentar caules delgados e morte das folhas baixeiras (Taiz e Zieger, 2004).

A dinâmica do fósforo no solo é influenciada pelo material de origem, a textura e a idade do solo. No Brasil, o ambiente tropical com alta pluviosidade anual, alto gradiente de variação de temperatura e umidade relativa, favorecem o intemperismo, dando origem a solos com mineralogia predominantemente em minerais silicatos 1:1 (caulinita) e óxidos, principalmente Fe e Al, além de serem naturalmente ácidos, de modo que a natural mineralogia dos solos tropicais favorece a adsorção de P no solo (Fontes *et al*., 2001).

Assim, nos solos brasileiros a disponibilidade natural de fósforo é baixa, em função de sua grande afinidade por óxidos de ferro e de alumínio, formando compostos de baixa solubilidade e dificultando a absorção pelas plantas (Novais *et al*., 2007). Essa característica do elemento implica na necessidade de aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados, mesmo que a exigência pelas plantas não seja tão elevada.

Via de regra, a aplicação de fósforo é feita no sulco de semeadura, porém, dependendo da situação, também pode ser aplicado a lanço na superfície (com ou sem incorporação). Em regiões de agricultura de maior extensão (Cerrado), com o intuito de aumentar a velocidade de semeadura, os produtores vêm adotando a adubação a lanço, antes da semeadura, mesmo sabendo que o P é um elemento pouco móvel no solo (Sousa *et al*., 2016).

Nas características do Sudoeste do Paraná, formado predominante por pequenas propriedades, com solos localizados em terrenos declivosos e com altos teores de argila, é importante estudos para verificar a eficiência da adubação fosfatada a lanço nesses solos.

O objetivo do trabalho foi comparar diferentes modos de aplicação de fósforo (lanço e linha) sobre o desempenho agronômico da cultura da soja cultivada em solo com teor muito alto de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no município de Itapejara D'Oeste – PR, nas coordenadas geográficas 25°57' 55" S e 52°48'59" O. O solo do local é um Latossolo Vermelho distrófico e a altitude média é de 536 m. O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, segundo Koppen e Geiger, com temperatura média de 18,5 °C, e pluviosidade média de 1930 mm, tem suas estações muito bem definidas.

As características químicas da área experimental (0-20 cm), antes do início do experimento, eram: pH-$CaCl_2$ = 6,3; Matéria orgânica = 49,6 g dm^{-3}; P e K (Mehlich-1) = 19,1 mg dm^{-3} e 0,77 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente; Ca, Mg e Al (KCl 1M) = 7,9, 4,0 e 0,00 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente; CTC = 15,6 $cmol_c$ dm^{-3}; V = 81%, demonstrando tratar-se de um solo de alta fertilidade com teor de fósforo classificado como muito alto (NEPAR-SBCS, 2019).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro tratamentos e quatro repetições, totalizando 16 unidades experimentais. Os tratamentos foram: (1) 100% do fósforo aplicado na linha; (2) 50% do fósforo a lanço e 50% do fósforo na linha; (3) 100% do fósforo aplicado à lanço e; (4) testemunha sem nenhuma aplicação de fósforo. Cada parcela teve a dimensão de 5 x 4, totalizando 20 m².

Nas parcelas com aplicação do fósforo a lanço, esta foi realizada no dia anterior a semeadura, ou seja, em 21 de outubro de 2023. A dose de fósforo foi de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5, considerando se tratar de um solo argiloso, com teor de fósforo no solo muito alto e expectativa de rendimento entre 4,1-5,0 t ha^{-1} (SBCS-NEPAR, 2019). A fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato simples, contendo 18% de P_2O_5. Nos tratamentos com adubação fosfatada na linha, o procedimento ocorreu junto com a semeadura da soja.

A adubação potássica para a cultura da soja foi igual para todos os tratamentos e foi realizada em cobertura, no estádio V2 da soja, na dosagem de 50 kg ha^{-1} de K_2O, tendo como fonte o cloreto de potássio (60% K_2O). As sementes foram inoculadas com rizóbio específico.

A cultivar de soja utilizada no experimento foi a PIONEER 95Y02IPRO, semeada no dia 22 de outubro de 2023. No estádio de pleno florescimento, 30 de novembro, foram coletadas 10 plantas por parcela, retirado o terceiro ou quarto trifólio completamente desenvolvido, de cima para baixo na haste principal. Esse material foi seco em estufa a 60°C, moído e determinado o teor de fósforo conforme metodologia descrita em Tedesco *et al*. (1995).

No estádio de maturação fisiológica (R9), no dia 6 de fevereiro de 2024, foram colhidas as três linhas centrais de soja, num comprimento de 3 m lineares, totalizando 5,15 m^2. Após colhidas, as plantas foram pesadas e o rendimento de grãos foi extrapolado para kg ha^{-1}, com umidade corrigida para 13%. Além do rendimento de grãos, também foram avaliados, em 10 plantas por unidade experimental, a altura de plantas, o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e a massa de mil grãos.

Os dados foram tabulados, e submetidos a análise de variância e, quando significativos, comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito dos tratamentos sobre as variáveis teor de fósforo na parte aérea, massa de mil grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e altura da planta.

O valor médio de fósforo na parte aérea e de massa de mil grãos (MMG) foi de, respectivamente, 3,7 g kg^{-1}, considerado dentro da faixa ideal (NEPAR-SBCS, 2019) e de 155 g (abaixo do ideal, conforme portfólio da cultivar PIONEER 95Y02IPRO, cujo valor deveria ser de 195 g). Acredita-se que essa menor MMG, em relação ao esperado para a cultivar, se deva a algum estresse ambiental, especialmente a um período de

déficit hídrico ocorrido no mês de janeiro/2024, no estádio de enchimento de grão da cultura, bem como a ocorrência de podridão radicular de Phytophthora (*Phytophthora sojae*) na área experimental.

Os resultados de número de vagens por planta, número de grãos por vagem e altura de planta, foram, respectivamente, de 39,7, 2,4 e 87,2 cm, apresentando um coeficiente de variação (CV) extremamente elevado, fato que prejudica a análise e conclusão sobre o resultado encontrado. No entanto, a altura de planta esperada para a cultivar de soja testada, PIONEER 95Y02IPRO, conforme o seu portfólio, era de 84 cm, indicando que esse trabalho superou o valor esperado.

Apesar dos modos de aplicação de fósforo não terem manifestado efeito sobre os componentes de rendimento da cultura da soja, o mesmo não pode ser dito em relação ao rendimento de grãos, que foi afetado pelos tratamentos. Os melhores resultados foram observados para a aplicação da dose total de P (50 kg ha^{-1} de P_2O_5) toda no momento da semeadura, independente se feita na linha ou à lanço. Quando não houve aplicação de P ou quando se parcelou a dose entre linha e lanço, os rendimentos foram inferiores (Figura 1).

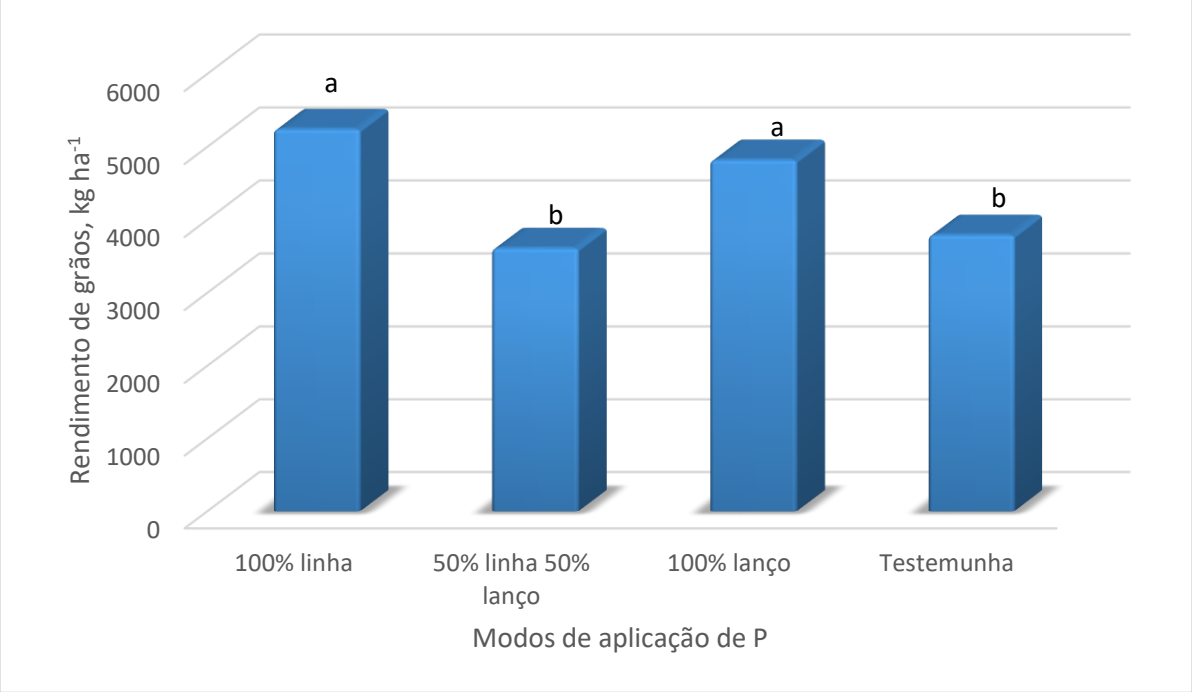


Figura 1. Rendimento de grãos de soja, cultivar PIONEER 95Y02IPRO, em função de modos de aplicação de fósforo.

O rendimento de grãos de soja, no tratamento testemunha, foi de 3.793 kg ha^{-1} e não se diferenciou do tratamento que combinou as duas formas de aplicação de fósforo (linha e lanço). Por sua vez, a aplicação da dose total de fósforo, seja na linha de semeadura ou à lanço em área total, proporcionou os maiores rendimentos, sem diferença entre si.

Esse resultado é de extrema importância porque evidencia que, em solo com teor de fósforo muito alto, como era o do presente experimento, com valor de 19,1 mg dm^{-3}, é possível fazer a aplicação do elemento à lanço, apesar de sua baixa mobilidade no solo. Resultado semelhante foi obtido por o Carvalho *et al*. (2022), que não encontraram diferença de produtividade entre os tratamentos 100% linha e 100% lanço em solo com teor de fósforo corrigido.

Apesar de ser uma prática viável em solos com teores elevados de fósforo, ainda assim é preciso tomar alguns cuidados, especialmente em regiões declivosas, com possibilidade de perda de fósforo por

escoamento superficial. Em qualquer ambiente, mas especialmente nas áreas com muito declive, é condição indispensável o plantio em nível para dificultar o escorrimento da água, a cobertura do solo com palhada para minimizar o contato da gota da chuva direto no solo, além de práticas mecânicas como o terraceamento visando reduzir o comprimento de rampa e, por consequência, a velocidade de escoamento da água superficial, especialmente em regiões de chuvas de alta erosividade, como as observadas no Sudoeste do Paraná.

CONCLUSÕES

A aplicação da dose integral de fósforo, seja na linha ou a lanço, proporciona os melhores resultados em termos de rendimento de grãos de soja, apesar de não influenciar nos demais componentes de rendimento.

Em solos com elevado teor de fósforo, a aplicação de 100% do fósforo a lanço se mostra vantajosa por possibilitar maior agilidade na semeadura. Entretanto, especial atenção deve ser tomada em terrenos declivosos, nos quais possa ocorrer perdas de solo (e de nutrientes) em função do escoamento superficial.

AGRADECIMENTOS

Ao Agricultor Ademir Lovatto, pela cedência da área e dos insumos que possibilitaram a condução do experimento.

Aos Laboratórios, de Solos (LABSOLOS) e de Sementes, da UTFPR/Campus Pato Branco, pelo auxílio na realização das análises.

BIBLIOGRAFIA

CARVALHO, L. C.; MARTINS, W.S; MURAISHI, C.T.; DOURADO, D.P.; SANTOS, G.R.; BARBACENA, D.R.; ADAMS, G.S.; SOUZA, M.P. Doses e modos de aplicação de fertilizante fosfatado na cultura da soja na região do cerrado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e528111537502, 2022.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A. d.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidaise sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 627–646, 2001.

NEPAR-SBCS. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Estadual Paraná, 2019. 289 p.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 1017 p.

SOUSA, D. M. G.; NUNES, R.S.; REIN, T.A.; GOMES, J.D. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa, 2016. 10 p. (Circular Técnica 33).

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. [*S.l.*]: Artmed, 2004. 719 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEIS, S.J. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. 2º Ed. Porto Alegre. Departamento de Solos/ UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico 5).

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE CENTEIO SOB NÍVEIS DE NITROGÊNIO EM COBERTURA

Rodrigo Camargo de Castro[1*]; Lucas Mayer Malheiros[2]; Pedro Henrique Stoeberl[3]; Ana Luísa Palhano Silva[4].
[1,2,3]Estudante de graduação na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR. *rodrigoccastro04@gmail.com, [4]Engenheiro Agronômo(a), Dr(a)., Professor(a) na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR.

RESUMO

O centeio (*Secale cereale*), consiste de opção rústica para a formação de áreas em sistemas de duplo propósito, servindo para alimentação animal, na forma de forragem. Os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos da adubação nitrogenada em cobertura quanto à produção e qualidade de forragem da cultura do centeio. O experimento foi realizado em sete canteiros, no modelo de blocos ao acaso, avaliando 3 doses de N em cobertura. T1 (testemunha sem adubação de cobertura), T2 (proporcional a 25 kg de nitrogênio por hectare, na forma de uréia) e T3 (50 kg de nitrogênio por hectare, na forma de uréia), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. O nitrogênio, aplicado em cobertura, teve impacto considerável na produção de forragem e de lâminas, bem como a relação entre lâmina e colmo e a quantidade de perfilhos, nas doses e condições analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: forragicultura; pastagens; adubação; nitrogênio.

INTRODUÇÃO

O centeio é uma opção de cultivo de inverno no Brasil. Em relação aos outros cereais de estação fria, destaca-se pela rusticidade e capacidade de adaptação em condições de ambiente menos favoráveis. Pode ser usado tanto para alimentação humana quanto animal (grãos). Entretanto, é como planta forrageira (integração lavoura e pecuária) e para cobertura de solo seu maior uso (NASCIMENTO JUNIOR, 2022). O cultivo de centeio no País ainda está muito aquém das nossas potencialidades. As estatísticas oficiais dão conta que são ocupadas anualmente ao redor de dois mil e quinhentos hectares com centeio. Há quem estime que essa área seja, pelo menos, o quádruplo (dez mil hectares), uma vez que muitas informações sobre cultivo de centeio ficam restritas no âmbito das propriedades rurais, não sendo formalmente contabilizadas nos levantamentos da produção agrícola brasileira. De qualquer forma, há muito espaço para crescimento desse cereal no Brasil; especialmente na Região Sul (onde existem condições climáticas adequadas e tradição de cultivo).

A cultura de centeio possui ampla adaptação e pode ser cultivada em uma vasta diversidade de condições ambientais, quando comparado a outros cereais de inverno. É cultivado desde o círculo polar ártico até altitudes de 4.300 m, no Himalaia (BAIER, 1994). Sob condições de temperatura baixa, próximo a zero, ou em caso de ocorrência de geada, centeio possui maior potencial de rendimento de massa verde do que trigo ou aveia (*Avena sativa* L.). Isso se verifica pelo fato de a atividade fisiológica de crescimento ocorrer à temperatura basal a partir de 0 ºC, enquanto trigo, a partir de 2,8 a 4,4 ºC, azevém, 6,4 ºC, e aveia, 4,4 ºC (BRUCKNER; HANNA, 1990).

Uma característica do centeio que enfatiza a eficiência da cultura para cobertura é a adaptação a condições frias e secas. A temperatura ótima para o crescimento da planta é de 25 a 31 ºC. É em regiões mais elevadas e mais frias, ou em anos com invernos mais frios ou mais secos, que o centeio se destaca pela maior produção de massa e pela precocidade. Mundstock (1983) evidenciou centeio como o cereal mais tolerante a baixa temperatura, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento. Todavia, o centeio é muito sensível a elevada temperatura durante a floração e a formação de grãos. É uma planta exigente em dias longos, e o florescimento é induzido por 14 horas, ou mais, de luz. Centeio é pouco exigente em disponibilidade hídrica durante o desenvolvimento e altamente sensível a excesso de chuva, justificando assim as maiores áreas de cultivo em regiões de solos arenosos e com déficit hídrico, como na Polônia e na

Argentina. A água é requerida com maior intensidade durante as fases de florescimento e de enchimento de grãos.A aplicação de nitrogênio (N) é uma das práticas mais seguras em termos de retorno econômico, pois a maioria dos solos apresenta disponibilidade insuficiente desse nutriente em relação à demanda das plantas.

A eficiência agronômica de fertilizantes nitrogenados (ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio) para cereais de inverno é idêntica. Ocasionais diferenças entre fontes resultam de efeitos ambientais (precipitação pluvial, temperatura e volatilização de amônia). Por essa razão, recomenda-se usar a fonte que apresenta menor custo por unidade de N. Os objetivos gerais deste trabalho foram avaliar os efeitos da adubação nitrogenada em cobertura, quanto à produção e qualidade de forragem da cultura do centeio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Campus Barigui, da Universidade Tuiuti do Paraná, cujas coordenadas são 25º25'25.363"S 49º19'9.149"W, possuindo classificação climática Cfb, segundo a classificação de Köppen. Para avaliar as respostas em produção de forragem do centeio (*Secale cereale*) sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em cobertura, sete canteiros foram utilizados para a formação das plantas.

Previamente à semeadura, o solo dos canteiros foi revolvido e homogeneizado, com amostras retiradas para análises químicas do solo que foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Tuiuti do Paraná. Paralelamente, as sementes foram enviadas ao Laboratório de Sementes da Universidade Tuiuti do Paraná visando avaliar sua viabilidade.

Para proceder às avaliações, a cultura foi formada em linhas, com espaçamento de dezenove centímetros entre linhas e profundidade de semeadura de dois a três centímetros. Após a formação, os canteiros foram irrigados a cada dois dias, quando não houve ocorrência de precipitações.

Quando as plantas atingiram 25 centímetros, foi realizado o corte de igualação de todas as plantas dos canteiros e, imediatamente, foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura nas doses: T1 (testemunha sem adubação de cobertura), T2 (proporcional a 25 kg de nitrogênio por hectare, na forma de uréia) e T3 (50 kg de nitrogênio por hectare, na forma de uréia), mantendo-se a irrigação e controle de plantas daninhas em todos os canteiros.

Para avaliar a resposta das plantas aos tratamentos, na altura preconizada para manejo do centeio sob pastejo, ou seja, aos 25 centímetros a densidade de perfilhos (número), a relação lâminas/colmos e a massa de forragem (kg MS por hectare).

O delineamento estatístico proposto foi o de blocos ao acaso com sete repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na altura de manejo preconizada, ou seja, 25 cm, foram constatadas diferenças significativas para os parâmetros produção de massa seca total e de lâminas, para as doses de nitrogênio testadas (25 e 50 kg de N por hectare) (Tabela 1), quando comparadas à testemunha, sem adubação nitrogenada de cobertura.

As doses de adubação nitrogenada apresentaram elevada produção de massa seca total, e massa seca de lâminas, porém somente a dose de 50kg/ha (T3) exibiu diferença significativa de relação lâmina/colmo, em relação aos outros tratamentos (Tabela 2).

Tabela 1. Dados de produção de forragem (g MS/m^2) por tratamento.

Tratamento	Massa de Lâminas	Massa de colmos	Massa de forragem
T1	185,0 b	152,5 a	337,5 b
T2	207,5 a	157,5 a	365,0 a
T3	210,0 a	155,0 a	365,0 a

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Tabela 2. Dados adicionais de relação lâmina/colmo na massa verde, e média de número de perfilhos por tratamento.

Tratamento	Relação Lâmina / Colmo	Densidade de Perfilhos(perfilhos/m^2)
T1	1,23 b	510,0 b
T2	1,34 ab	725,0 a
T3	1,37 a	782,5 a

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Os resultados observados concordam com a literatura (Lavres Junior; Monteiro, 2003), tendo em vista que o nitrogênio está atrelado à produção de vários compostos orgânicos presentes na matéria orgânica dos vegetais, como enzimas, proteínas, pigmentos e ácidos nucleicos, Além disso, o nitrogênio também está relacionado com alterações na taxa de produção e alongamento de células nas zonas de divisão celular (Gastal; Nelson, 1994), fatores estes que poderiam explicar o aumento de fitomassa foliar.

CONCLUSÕES

O nitrogênio, aplicado em cobertura após rebaixamento do dossel forrageiro, influenciou significativamente na produção de massa de forragem e de lâminas, além da relação lâmina/colmo e no número de perfilhos, nas doses e condições avaliadas. Além disso, de forma indireta, a adubação nitrogenada influenciou positivamente a qualidade da forragem, por meio da maior proporção de lâminas, na maior dose avaliada. Sugere-se que futuras pesquisas sejam realizadas, visando avaliar a composição bromatológica da forragem de centeio sobre doses de nitrogênio, dando suporte científico mais amplo, para a inserção da cultura nos planos de manejo agropecuários, como alternativa às culturas da aveia preta e do azevém.

BIBLIOGRAFIA

ASSMANN, A. L. Adubação nitrogenada de forrageiras de estação fria em presença e ausência de trevo branco, na produção da pastagem e animal de integração lavoura-pecuária. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 88–88, 2003.

BAIER, A. C. **Centeio**. Passo fundo: Embrapa-Cnpt, 1994. 29 p.

BAIER, A. Centeio, uma cultura para produzir forragem e para proteger o solo, no sul do brasil. **Plantio direto**, p. 26–29, mar. 1998.

BAUER. M. O. ET AL. Produção e características estruturais de cinco forrageiras do gênero brachiaria sob intensidades de cortes intermitentes. **Ciência animal brasileira**, v. 12, n. 1, p. 17-25, jan. 2011.

BRUCKNER, P.L.; HANNA, W.W. In vitro digestibility of fresh leaves and stems of small-grain species and genotypes. **Crop science**, v.30, n.1, p.196-202, 1990.

CASTAGNARA, D. D. ET AL. Produção de forragem, características estruturais e e ciência de utilização do nitrogênio em forrageiras tropicais sob adubação nitrogenada. **Semina: ciências agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1637-1648, out. 2011.

EUCLIDES. V. P. B. ET AL. Consumo voluntário de brachiaria decumbens cv. Basilisk e brachiaria brizantha cv. Marandu sob pastejo. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 29 (6), nov. 2000.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. P. 144–147.

GASTAL, F. NELSON, C. J. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. **Plant physiology**, v.105, p. 191-197, 1994.

KERBAUY. G. B. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Rio de janeiro: Guanabara Koogan, 2019. P. 35.

LAVRES JUNIOR. J. MONTEIRO, A. F. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista brasileira de zootecnia**, v.32, n.5, p.1068-1075, 2003.

MUNDSTOCK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste, triticale**. Porto Alegre: ed. Do autor, 1983. 265 p.

WILKINS, P. W.; ALLEN, D. K.; MYTTON, L. R. Differences in the nitrogen use efficiency of perennial ryegrass varieties under simulated rotational grazing and their effects on nitrogen recovery and herbage nitrogen content. **Grass and forage science**, Oxford, v. 55, n. 1, p. 69-76, 2000.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA NA CULTURA DA MANDIOCA EM SOLO ARENOSO: NUTRIÇÃO DA PLANTA

Luciano Grillo Gil[1]*, Jackson Tavela da Silva[2], Wilmar Ferreira Lima[1]
[1] Pesquisador, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná). [2] Bolsista, IDR-Paraná. * lggil@idr.pr.gov.br.

RESUMO

A adubação da mandioca é imprescindível para a manutenção da fertilidade do solo além de manter as plantas com boa nutrição. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a adubação N e K na nutrição foliar da mandioca. Foi montado um experimento na cultura da mandioca para avaliar e efeito de duas épocas de aplicação de nitrogênio e potássio a lanço no solo. Um arranjo fatorial (4X4) com 4 formas de adubação (sem; N; K; N + K) aplicadas aos 50 e 93 dias após o plantio (DAP). Aos 140 DAP foram coletadas folhas para avaliação dos teores de N, P, K, Ca e Mg. Não houve efeito da adubação no teor de P e K. A adubação nitrogenada na primeira época combinada com a potássica na segunda época aumentou o teor de N nfoliar. As adubações nitrogenada e potássica diminuíram os teores de Ca e Mg foliar.

PALAVRAS-CHAVE: *Manihot esculenta*; arenito Caiuá; fertilizante.

INTRODUÇÃO

A cultura da mandioca desempenha um papel significativo no estado do Paraná, na safra 24/25 foram cultivados aproximadamente 150 mil hectares da cultura (Deral, 2005). A região Noroeste do estado é uma das principais produtoras de mandioca no Brasil, e gera benefícios tanto do ponto de vista econômico quanto social. A cultura tem se mostrado viável técnica e economicamente, proporcionando boa rentabilidade aos agricultores e geração de riqueza para os municípios, no entanto, a produtividade média tem sido baixa, em torno de 27 toneladas por hectare (Deral, 2025), por baixo uso de tecnologias, como manejo do solo, controle de pragas e doenças, entre outros.

A mandioca se desenvolve razoavelmente bem em solos pobres e/ou degradados, e poucas outras culturas se desenvolvem nesses locais depois da mandioca, muitas vezes acredita-se que a mandioca é uma "cultura extratora", ou seja, altamente eficiente na absorção, deixando esse solo ainda mais pobre do que antes. Assim, muitas vezes conclui-se que a mandioca extrai mais nutrientes do que a maioria das outras culturas, resultando em um esgotamento de nutrientes e declínio na fertilidade do solo (Howeler, 2022).

A formação sedimentar do Arenito Caiuá abrange praticamente toda a região Noroeste do estado, e é formado por solos arenosos com elevado grau de intemperismo, baixa fertilidade e susceptíveis a erosão. Entre as classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al*., 2018), a região é formada principalmente por Latossolos, Argissolos e Neossolos quartzarênicos (Bhering *et al*., 2008).

A calagem e adubação NPK nem sempre proporciona melhoria na produtividade da mandioca em solos com baixa fertilidade. Fidalski (1999) conduziu dois experimentos de mandioca em solos degradados no Arenito Caiuá (municípios de Paranavaí e Altônia, no Paraná); foram testadas a aplicação de calcário e adubação NPK na produtividade da cultura; e, somente houve resposta do fósforo para o aumento de produtividade.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada e potássica na nutrição foliar da mandioca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação de Pesquisa do IDR-Paraná em Umuarama, Paraná. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) de textura arenosa (Santos *et al.*, 2018),

com média-baixa fertilidade conforme análise de solo da camada arável (0-20cm) descrita na tabela 1. Os teores de areia, silte e argila do solo foram avaliados em 880, 20 e 100 g kg^{-1} respectivamente.

Tabela 1. Atributos químicos do solo na implantação do experimento, camada 0-20 cm.

P	C	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	SB	T	V	mAl
mg dm^{-3}	g dm^{-3}			----------cmol$_c$ dm^{-3}----------						------%------	
9,4	10,02	4,60	0,10	3,87	2,05	1,10	0,24	3,39	7,36	46,1	2,9

Teores médios do solo amostrado

O delineamento experimental utilizado foi um esquema fatorial (4X4) dispostos em blocos casualisados com 4 repetições. O fator A (primeira adubação) consistiu na aplicação de quatro tratamentos de fertilizantes (sem adubação 'SEM'; nitrogenada 'N'; potássica 'K'; nitrogenada e potássica 'NK'); já o fator B (segunda adubação) consistiu na aplicação dos mesmos tratamentos do fator 1 (SEM; N; K; e NK) numa segunda época; assim a combinação dos dois fatores originou 16 tratamentos, com um total de 64 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi composta por quatro linhas espaçadas a 0,9 m entre as linhas, cada linha havia 6 plantas espaçadas a 0,7 m. A área útil foi composta pelas duas linhas centrais e exclusa uma planta em cada borda da linha, sendo avaliadas as 8 plantas centrais.

Antes do plantio da mandioca havia aveia preta que foi dessecada com herbicida na fase de enchimento dos grãos, após o solo foi preparado com gradagens. O plantio foi realizado em 17/10/2023, com o uso de manivas da variedade IPR Paraguainha.

Foi aplicado na adubação de base o equivalente a 60 kg P_2O_5 ha^{-1} da fonte super fosfato simples via sulco de plantio. Na adubação de cobertura para cada época foi aplicado conforme os tratamentos, as doses de 40 kg N ha^{-1} e 80 kg K_2O ha^{-1} das fontes ureia e KCl, respectivamente. A primeira e segunda adubação foram aplicadas na superfície do solo a lanço aos 50 e 93 dias após plantio (DAP) respectivamente.

A amostragem foliar foi realizada aos 140 DAP, foram acondicionadas em sacos de e encaminhadas ao Laboratório de Solos e Tecido Vegetal do IDR-Paraná em Londrina, onde foram secas em estufa. Após, foram moídas em moinho tipo Willey e passada em peneira com abertura de 1,0 mm.

O N do tecido vegetal foi solubilizado pelO método de destilação de Kjeldahl e determinado por titulação. Os teores de P, K, Ca, Mg, foram solubilizados pela digestão com HCl e determinados por Espectrometria de emissão óptica com plasma - ICP OES, as determinações seguiram metodologia proposta por Miyazawa *et al*. (1992).

Os resultados obtidos foram tabulados submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F (alfa <0,10) conforme modelo matemático proposto em Montgomery (2012), e pelo teste de comparações de médias, Tukey (alfa <0,10) com o auxílio do Software SISVAR (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Anova (alfa <0,10) não houve efeito nos fatores principais e nem na interação para P e K, com os respectivos teores médios de 4,8 e 19,6 g kg^{-1}. Houve efeito na interação entre os fatores para os teores de N, Ca, Mg, Cu, Zn, B e Mn.

O teor de N na folha foi maior no tratamento (54,6 g kg^{-1}) onde recebeu adubação nitrogenada na primeira e potássica na segunda aplicação (Tabela 2).

Tabela 2. Teor de N na folha (g kg^{-1}) em função da interação entre a primeira e segunda adubação.

		2ª ADUBAÇÃO(*)			
		Sem	N	**K**	NK
1ª ADUB.(*)	Sem	50,4 Aa	53,8 Aa	**52,0 Aab**	49,5 Aa
	N	**52,5 ABa**	**50,8 ABa**	**54,6 Aa**	**48,0 Ba**
	K	52,7 Aa	50,3 Aa	**49,0 Ab**	52,2 Aa
	NK	52,5 Aa	52,8 Aa	**53,2 Aab**	50,2 Aa

*Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste Tukey (alpha<0,10); e, médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste Tukey (alpha<0,10).

O teor de Ca e Mg na folha foi maior no tratamento sem adubação para ambas aplicações. Quando não foi usado fertilizante na primeira aplicação, o ter de Ca foi superior no tratamento sem aplicação (4,2 g kg^{-1}) em relação ao uso de N (3,5 g kg^{-1}) na segunda aplicação. Quando não foi usado fertilizante na segunda aplicação, o teor de Ca foi superior no tratamento sem aplicação (4,2 g kg^{-1}) em relação ao uso de NK (3,6 g kg^{-1}) na primeira aplicação (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de Ca na folha (g kg^{-1}) em função da interação entre a primeira e segunda adubação.

		2ª ADUBAÇÃO(*)			
		Sem	N	K	NK
1ª ADUB.(*)	**Sem**	**4,2 Aa**	**3,5 Ba**	**3,7 ABa**	**3,7 ABa**
	N	**4,0 Aab**	3,8 Aa	3,8 Aa	3,7 Aa
	K	**3,8 Aab**	3,9 Aa	3,8 Aa	3,7 Aa
	NK	**3,6 Ab**	3,8 Aa	3,6 Aa	3,6 Aa

*Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste Tukey (alpha<0,10); e, médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste Tukey (alpha<0,10).

No desdobramento dos tratamentos em relação ao Mg foliar; quando não foi usado fertilizante na primeira aplicação, o ter de Mg foi superior no tratamento sem aplicação (3,0 g kg^{-1}) em relação ao uso de N (2,7 g kg^{-1}) e de K (2,7 g kg^{-1}) na segunda aplicação. Quando não foi usado fertilizante na segunda aplicação, o teor de Mg foi superior no tratamento sem aplicação (3,0 g kg^{-1}) em relação ao uso de NK (2,7 g kg^{-1}) na primeira aplicação (Tabela 4).

Tabela 4. Teor de Mg na folha (g kg^{-1}) em função da interação entre a primeira e segunda adubação.

		2ª ADUBAÇÃO(*)			
		Sem	N	K	NK
1ª ADUB.(*)	**Sem**	**3,0 Aa**	**2,7 Ba**	**2,7 Ba**	**2,8 ABa**
	N	**2,8 Aab**	2,8 Aa	2,7 Aa	2,8 Aa
	K	**2,8 Aab**	2,8 Aa	2,8 Aa	2,8 Aa
	NK	**2,7 Ab**	2,8 Aa	2,8 Aa	2,6 Aa

*Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si pelo teste Tukey (alpha<0,10); e, médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste Tukey (alpha<0,10).

Houve sinergismo para o teor de N na folha quando aplicou N na 1º adubação e K na segunda aplicação. A mandioca tem o pico de absorção de N antes que o K, uma vez que a principal demanda em quantidade do N é na composição das proteínas e clorofila (Marschner, 2012). O K tem sua maior demanda maior é para

regulação osmótica, e também para o transporte de carboidratos que tem elevada demanda mais tardia, durante o espessamento das raízes tuberosas (Marschner, 2012).

A resposta das adubações nos teores de Ca e Mg na folha foi idêntica, ambos os fertilizantes aplicados diminuíram os teores desses dois nutrientes na folha. A adubação nitrogenada, aplicação de ureia, geralmente acidifica o solo devido a nitrificação do nitrogênio amoniacal liberado pelo fertilizante, essa acidificação do solo está diretamente relacionada a menor disponibilidade de Ca e Mg no solo, e consequente diminuição na absorção (Novais *et al*.,2007). Da mesma forma a adubação potássica, diminuiu os teores de Ca e Mg na folha pelo efeito antagônico do K na absorção dos outros dois cátions, pois eles se competem pelos mesmos sítios de absorção nas raízes (Novais *et al*.,2007).

CONCLUSÕES

Não houve efeito da adubação no teor de P e K.

A adubação nitrogenada na primeira época combinada com a potássica na segunda época aumentou o teor de N nas folhas de mandioca.

As adubações nitrogenada e potássica diminuíram os teores de Ca e Mg foliar.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, e aos técnicos agrícolas Dieisson Luiz Gonçalves e Nilson Rogério Barrios Peracoli pelo apoio na montagem, condução, e coletas no experimento.

BIBLIOGRAFIA

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G.; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CHAGAS, C.S.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUZA, J. S. **Mapa de Solos do Paraná: Legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Floresta: Embrapa Solos: Instituto Agronômico do Paraná, 2008

DERAL (Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná). **Estimativa de safra 24/25 no Paraná**. Curitiba, 2025. Disponível em https://www.agricultura.pr.gov.br/safras. Acesso em 26/02/2025.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium.** Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FIDALSKI, J. Resposta da mandioca à adubação NPK e Calagem em solos arenosos do Noroeste do Paraná. **Pesq. agropec. Bras**., Brasília, v.34, n.8, p.1353-1359, 1999.

HOWELER, R.H. Cassava mineral nutrition and fertilization. *In:* HILLOCKS, RJ; THRESHOWELER, J.M.; BELLOTTI, A.C. (Ed.). **Cassava: biology, production and utilization.** Wallingford, 2002, p. 115-148.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. San Diego: Elsevier, 2012. 651p

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.M. **Análise química de tecido vegetal**. Circular Técnica 74. Londrina: IAPAR, 1992, 17p.

MONTGOMERY, D.C. **Design and Analysis of Experiments**. Eight ed. 2012

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NA QUALIDADE FLORAL DE STATICE (*Limonium sinuatum*)

Vilmara Aparecida Santos da Costa[1*], José Carlos Romanchuk[1], Danieli Aparecida Kaminski Zientara[1], Jonathan Eduardo Ferreira Antonovicz [1], Eliziane Luiza Benedetti[2]

[1] Estudante de graduação Instituto Federal de Santa Catarina *vilmara.s04@aluno.ifsc.edu.br. [2]Professora, Instituto Federal de Santa Catarina.

RESUMO

A statice é uma espécie de flor de corte amplamente utilizada em arranjos, sendo a adubação essencial para garantir hastes de qualidade. Esse estudo avaliou os efeitos da adubação química e orgânica na qualidade floral das cultivares QIS Dark Blue e QIS Rose. O experimento foi conduzido em blocos casualizados (4 blocos), com três tratamentos: T1 (sem adubação); T2 (adubação química); T3 (adubação orgânica). Foram avaliados o número médio de hastes florais por planta. Os resultados mostram que a adubação aumentou o número de hastes florais. A cultivar QIS Blue Dark apresentou maior produção (15,65), comparada à QIS Rose (8,04). A adubação, tanto orgânica quanto mineral, contribui para o aumento do número de hastes florais de statice, impactando positivamente na qualidade das mesmas. A cultivar Qis Blue Dark, mostrou-se mais produtiva quando comparada à Qis Rose.

PALAVRAS-CHAVE: fertilidade; flores; haste floral.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a cadeia produtiva da floricultura e plantas ornamentais tem movimentado um volume de aproximadamente 10,9 bilhões de reais (CNA, 2025). Esse setor desempenha uma grande importância na geração de emprego e renda, promovendo também, oportunidades para o pequeno produtor.

A statice (*Limonium sinuatum*), conhecida também como lavanda do mar, pertencente à família Plumbaginaceae, é originária do Mediterrâneo. Considerada uma espécie de flor de corte, é amplamente utilizada na composição de arranjos de flores e em decorações (Da Silva, 2022). Para garantir hastes florais de qualidade, o manejo adequado, incluindo a escolha da fonte de adubação, é essencial.

Os solos brasileiros, geralmente apresentam baixas disponibilidades de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas e elevada acidez. Por isso é fundamental adotar estratégias para a melhoria da sua fertilidade química com o uso eficiente de fertilizantes, corretivos e práticas agrícolas que preservem seus atributos químicos, físicos e biológicos. Além disso, o aumento dos teores de matéria orgânica no solo é fundamental para aprimorar a fertilidade e produtividade (Freire, 2013).

A statice é uma planta de baixa exigência nutricional (Verlinden e Mcdonald, 2007 apud Roca *et al*., 2011), e que o excesso de fertilizantes pode resultar em inflorescências reduzidas e caules frágeis, comprometendo a sua qualidade. Além disso, o uso excessivo pode levar a perdas significativas de nutrientes por lixiviação, o que é indesejável do ponto de vista da sustentabilidade (Roca *et al*., 2011).

Diante deste cenário, o trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação química e orgânica na qualidade floral de duas cultivares de statice.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Canoinhas, Planalto Norte Catarinense-BR, entre os meses de agosto de 2024 a janeiro de 2025 em latitude 26°11'0.37"S longitude 50°22'9.66"O com classificação climática segundo Köppen de Cfb-Temperado (mesotérmico úmido e verão ameno), com temperatura média anual de 17-18 °C, precipitação média anual de 1500-1700 mm (EPAGRI, 2003). E altitude média de 772 m (BRASIL, 2012).

No dia 02 de agosto de 2024, foi realizado o plantio em canteiros revolvidos com enxada rotativa com largura de 1,2m, mudas de statice com oito folhas verdadeiras, no espaçamento de 30 cm entre plantas X 50 cm entre linhas. O experimento consistiu em um esquema de blocos casualizados em esquema fatorial 3x2, três manejos de adubação, T1: sem aplicação de adubação, T2: aplicação de adubação química e T3: aplicação de adubação orgânica, para suprir a demanda de P e duas cultivares de statice (QIS Dark Blue e QIS Rose) com 4 repetições. Cada unidade experimental foi constituída por oito plantas, sendo quatro de cada cultivar. Para determinar a dose (N= 15 g m^{-2}, P_2O_5 = 12 g m^{-2} e K_2O = 3,0 g m^{-2}), considerou-se a recomendação (Rossato, 2022) e análise de solo do local (M.O.= 33,84 g dm^{-3}, P= 1,36 mg dm^{-3}, K= 0,54 $cmol_c$ dm^{-3} e argila=76 %). A dose de adubação orgânica (cama de frango) foi de 571 g m^{-2} (T2) e para mineral (T3) usou-se uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio para suprir a demanda de NPK. A aplicação das doses ocorreu no dia do transplante das mudas, em área total incorporando o adubo ao solo.

A colheita era realizada quando as hastes alcançaram 95 % dos floretes abertos. Avaliando-se, durante o ciclo produtivo, a qualidade floral a partir do número de hastes por planta.

Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade e normalidade, e aceitos seus pressupostos, foram submetidos à Anova e teste de média (Tukey) utilizando o Software estatístico R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não ocorreu interação significativa entre adubação e cultivares, sendo que somente a adubação e cultivar influenciou as variáveis analisadas. Dessa forma analisando o efeito simples dos resultados.

Para o número de hastes observa-se que os resultados foram significativos (Figura 1). O tratamento T1 apresentou média inferior entre os diferentes tratamentos (3,37 hastes/planta), demonstrando que a falta de nutrientes no solo limita o desenvolvimento da cultura. Em contrapartida, nos tratamentos com adubação, as médias foram superiores, com 14,50 hastes/planta e 17,66 hastes/planta, respectivamente, para a adubação mineral e orgânica, porém não diferiram estatisticamente entre si.

Os adubos minerais possuem alta concentração de nutrientes em suas fórmulas e são derivados de rochas, proporcionando rápida disponibilidade para as plantas. Por outro lado os adubos orgânicos, são originados de dejetos de animais, cama de aves, e restos vegetais, apresentam uma liberação mais lenta, diminuem os custos nas lavouras, visando boas produtividades e, ao mesmo tempo, promovendo melhorias nas características do solo (Bettiol *et al*., 2023), uma vez que a matéria orgânica é fundamental para um solo de boa qualidade. Apesar dos diferentes mecanismos e formas de ações, ambas as fontes de adubação se mostraram eficazes no número das hastes.

Um estudo realizado por Cavalcante *et al*., (2015), obteve resultados parecidos para o número de hastes, a produção de inflorescências de *helicônia cv. Golden Torch* sob adubação nitrogenada e potássica, demonstrou que a aplicação de potássio proporcionou o aumento no número de haste floral por touceira.

Esses resultados reforçam a importância da adubação na cultura. Da mesma forma, pesquisas com a statice também evidenciaram que a nutrição adequada contribui para o aumento da emissão de hastes florais, melhorando a produtividade e a qualidade das flores.

Em relação ao número de hastes por cultivar, os resultados demonstram que a Qis Dark Blue apresentou o maior número (15,65 hastes/planta), em relação a Qis Rose (8,04 hastes/planta) (Figura 2), ou seja, o potencial produtivo observado foi superior em 94 % para a cultivar, o que a torna dessa forma mais atraente para o cultivo na região.

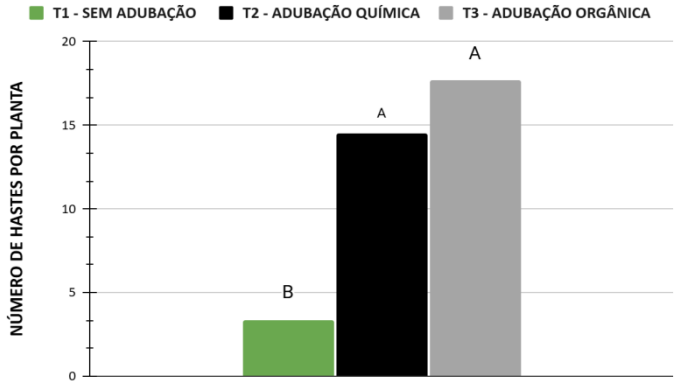


Figura 1. Média dos números de hastes por planta, para os diferentes tratamentos: T1 (Sem adubação), T2 (Adubação química) e T3 (Adubação orgânica). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

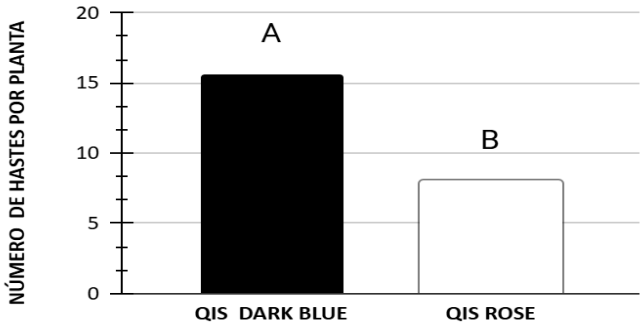


Figura 2.Média dos números de hastes por planta, para as diferentes cultivares. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

O maior número de hastes para a cultivar Qis Dark Blue pode estar relacionado ao fato da mesma ser mais responsiva a adubação, indicando que esta cultivar apresenta uma maior capacidade de aproveitamento dos nutrientes disponíveis no solo. No entanto, se torna necessário estudos mais aprofundados relacionados à nutrição das diferentes cultivares.

CONCLUSÕES

A adubação, tanto orgânica quanto mineral, contribuíram para o aumento do número de hastes florais de statice, impactando positivamente na qualidade das mesmas.

A cultivar Qis Blue Dark, mostrou-se mais produtiva quando comparada à Qis Rose.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à professora Leosane Cristina Bosco da UFSC - Curitibanos, pela parceria e por nos estimular ao estudo com flores. E ao Grupo de Estudos em Fertilidade e Nutrição - FERTINUTRICAN pelo apoio nas atividades.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR J. P. L. **Inoculação de sementes com a estirpe 245 de Azospirillum: uma contribuição para o sistema de produção orgânico de mudas e flores de statice (*Limonium sinuatum*).** 2016. 69 f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica, 2016.

BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; PELLEGRINO CERRI, C. E.; MARTIN-NETO, L.; ANDRADE, C. A. de. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa. 2023.

BECKMANN-CAVALCANTE, M.Z.; AMARAL, G.C.; AVELINO, R.C.; SILVA, A.A.; SILVA, A.S.; OLIVEIRA, J.B.S. Produção de inflorescências de *helicônia cv. Golden Torch* sob adubação nitrogenada e potássica. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.1, p.65-73, 2015.

BRASIL. **Atlas climático da região sul do Brasil:** estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília, DF: Embrapa, 2012, ISBN 978-85-7035-013-8.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Mercado de Flores no Brasil atingiu R$10,9 bilhões em 2021**. 2022. Disponível em: https://cnabrasil.org.br/noticias/mercado-de-flores-no-brasil-atingiu-r-10-9-bilhoes-em-2021. Acesso em: 10 fev. 2025.

DA SILVA, L. G. **Produção de hastes florais de Limonium sinuatum em Dois Vizinhos - PR.** 2022. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). 2022.

FREIRE, L. R. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica: Universidade Rural, cap. 5, p.430. 2013.

EPAGRI, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Canoinhas Caracterização Regional**, 2003. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br.pdf. Acesso em: 03 fev 2025.

PAULA, L. R. **Manejo da luminosidade na qualidade de hastes florais e soluções conservantes na pós-colheita de estátice**. 2022. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Cândido Rondon, 2022.

ROCA, D.; FERNANDÉZ - ZAMUDIO, M. Á.; BARTUAL, J.; VERDEGUER, A.; MARTÍNEZ, P. F. Estudio de los efectos de la reducción de los aportes minerales sobre el rendimiento y la calidad del estatice *Limonium sinuatum (L.) Mill. In:* JORNADAS IBÉRICAS DE HORTICULTURA ORNAMENTAL, 5., 2011, Faro, Patacão, **Actas Portuguesas de Horticultura**, n. 19, p. 113-115.

ROSSATO, O. B.; BELLÉ, S.; SCHNITZER-RIBEIRO, J.A.; SOUZA, A. G. de.; TOMIOZZO, R. Solo e adubação de statice. *In:* TOMIOZZO, R. *et al*. **Statice: Cultivo e arte**. 2022. 1. ed. Santa Maria, p. 77-104, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DOSES DE FÓSFORO NO NÚMERO DE PERFILHOS E HASTES FLORAIS DE STATICE (*Limonium sinuatum*)

José Carlos Romanchuk[1], Gustavo Kenji Matsuzawa[1], Murilo Girolimetto Kohler[1], Vilmara Aparecida Santos da Costa[1], Eliziane Luiza Benedetti[2]

[1] Estudante de graduação Instituto Federal de Santa Catarina *josecarlosromanchuk@gmail.com, [2]Professora Instituto Federal de Santa Catarina, elizianebenedetti@ifsc.edu.br

RESUMO

A statice (*Limonium sinuatum* (L.)Mill) é uma das mais populares flores de corte no mundo, entretanto, vários aspectos do sistema de produção ainda são desconhecidos, principalmente no manejo de adubação. O trabalho teve como objetivo avaliar características produtivas da Statice, submetidos a doses de fósforo. O estudo foi conduzido com a cultivar QIS yellow, no delineamento de blocos casualizados, com 4 repetições e 5 doses de P_2O_5/m^2, T1=0 g , T2= 6 g, T3= 12 g (recomendada), T4= 18 g e T5= 24 g. Avaliou-se o número de hastes florais e perfilhos. O aumento de doses de fósforo proporcionam aumentos significativos em relação à testemunha. A dose de 25,3 g/m^2 de P_2O_5 proporcionou a maior produção de hastes florais, já a maior produção de perfilhos/hastes foi obtida na dose de 18,3 g/m^2 de P_2O_5 . A statice é responsiva a adubação fosfatada, tendo incremento na produção de hastes e perfilhos.

PALAVRAS-CHAVE: *Limonium sinuatum;* adubação; flores

INTRODUÇÃO

Os solos das regiões tropicais, devido ao intenso intemperismo sofrido ao longo do tempo, naturalmente apresentam baixos níveis de P (Batista *et al*., 2018). Entretanto, a baixa disponibilidade destes nutrientes se torna um dos fatores limitantes para o crescimento das plantas. Fator que compromete diretamente a produção, pois a falta de fósforo no solo, ocasiona em geral, manchas de coloração tipicamente arroxeadas, causadas pelo acúmulo de antocianina, aparecendo em geral em folhas mais velhas, expansão foliar comprometida, decréscimo no número de flores e atraso na iniciação floral, e como consequência baixa produção e, em casos de deficiência contínua, na morte da planta (Kerbauy, 2019). A maior eficiência de utilização de P depende dos processos biológicos e químicos que ocorrem no solo, os quais podem contribuir para o aumento na disponibilidade deste elemento no solo (Batista *et al.,* 2018).

As frações prontamente decomponíveis ou facilmente solúveis de P orgânico do solo são, muitas vezes, o fator mais importante no fornecimento de P para as plantas em solos altamente intemperizados.

A espécie *Limonium sinuatum* (L.)Mill) conhecida pelo nome comum de statice, estátice, latifolia ou lavanda do mar, é uma planta anual, originária da região do Mediterrâneo. É uma das flores de corte mais populares do mundo, que continua a ser produzida em grande escala. Possui baixa exigência de água, nutrientes e de manejo fitossanitário, esta característica, associada às suas fortes cores e durabilidade, a torna uma opção comercialmente atrativa (Aguilar, 2016).Entretanto, a aspectos do sistema de produção ainda desconhecidos, aliado ao pouco conhecimento sobre manejo de cultivo de flores.(Aguilar, 2016). Dentro desse contexto, com o crescente interesse pela atividade da floricultura, fica evidente a necessidade de informações sobre cultivos de espécies ainda pouco exploradas em determinadas regiões (Da Silva, 2022), e como a adubação fosfatada é fundamental para a manutenção do elemento no solo e do sistema produtivo, aliado as limitadas informações sobre o manejo de adubação fosfatada para esse cultura na região, se torna necessário novos estudos.

Dessa forma, o trabalho teve como objetivo avaliar características produtivas da Statice, submetidos a doses crescentes de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Canoinhas, Planalto Norte Catarinense-BR, entre os meses de agosto a dezembro de 2024 em latitude 26°11'0.37"S longitude 50°22'9.66"O com classificação climática segundo Köppen de Cfb-Temperado (mesotérmico úmido e verão ameno), com temperatura média anual de 17-18 °C, precipitação média anual de 1500-1700 mm (EPAGRI, 2003).

Em agosto de 2024 realizou-se o transplante de mudas de statice, cultivar QIS yellow em estádio V8 (8 folhas verdadeiras) propagadas via seminal. O transplante foi realizado em canteiros revolvidos com enxada rotativa de 1,2 metros de largura, no espaçamento de 30 cm X 50 cm. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro blocos e cinco doses de adubação fosfatada aplicados em área total. As doses foram determinadas a partir da análise de solo do local (M.O = 33,84 g/dm^{-3}; P = 1,36 mg/dm^{-3}; K = 0,54 cmol$_c$/dm^{-3} e Argila = 76 %) e a exigência da cultura (Rossato, 2022), sendo: T1 = 0 , T2 = 6, T3 = 12 (dose recomendada), T4 = 18 e T5 = 24 g/m^2 de P_2O_5, utilizou-se o super fosfato triplo. Para suprir a demanda de potássio e nitrogênio pela cultura, foi realizada a aplicação de 15 g/m^2 de N e 3 g/m^2 de K_2O, utilizou-se uréia e cloreto de potássio. Cada unidade experimental foi composta de quatro plantas, entre as parcelas utilizou-se duas linhas de bordadura.

A colheita era realizada quando as hastes alcançaram 95 % dos floretes abertos. Avaliando-se, durante o ciclo produtivo, o número total de hastes colhidas e número de perfilhos.

Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade e normalidade, e aceitos seus pressupostos, utilizando o Software estatístico R, seguido por análise de regressão pelo Software estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis foram influenciadas significativamente pelas doses de P_2O_5 testadas (Figura 1 e 2). Levando em consideração o número de hastes florais, na dose de 25,3 g/m^2 de P_2O_5 foi obtido o maior número, 32,3 hastes/plantas (Figura 1). O aumento de doses de fósforo proporcionam aumentos significativos em relação à dose 0 (T1) que obteve uma produção de 12,8 hastes por planta, valor esse inferior 152 % em relação à máxima produção com 32,2 hastes.

Na dose recomendada, a produção chegou ao total de 26,8 hastes por planta, valor superior em 110 % em comparação ao total de hastes obtidas no tratamento T1.

A maior produção de perfilhos por hastes, com média de 4,2, foi obtida na dose de 18,3 g/m^2 de P_2O_5 (Figura 2), valor esse superior em 124 % ao T1, que obteve média de 1,87 perfilhos por hastes.

Observa-se que para as variáveis analisadas, a dose ótima foi obtida acima da dose recomendada para a cultura. Em virtude da alta capacidade de adsorção do fósforo ao solo (Vinha *et al.*, 2021) aliada a aplicação em área total pode ter limitado a disponibilidade do fósforo. Outra hipótese, é que cada cultivar pode ter uma exigência nutricional diferenciada, características que ainda não foram elucidadas.

O fósforo é de suma importância para compor açúcares-fosfato, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfolipídeos, papel central em reações que envolvem ATP (Kerbauy, 2019) sendo que a deficiência desse elemento os processo vitais e de produção da planta são afetados provocando crescimento reduzido, com sistema radicular minimizado e folhas pequenas, limitando assim a formação de flores (Segovia, 2020). Quando o nível de fósforo no solo estiver muito baixo, como no caso do estudo, a magnitude da resposta é maior. A espécie é considerada pouco exigente em nutrientes (Aguilar, 2016) , no entanto, os resultados demonstram a importância da adubação fosfatada na melhoria da produção e qualidade floral em condição de solo com baixo suprimento em fósforo.

A partir desse estudo, observa-se a necessidade de investigações mais aprofundadas sobre a exigência em fósforo pela espécie, incluindo manejo de adubação e testes com diferentes cultivares.

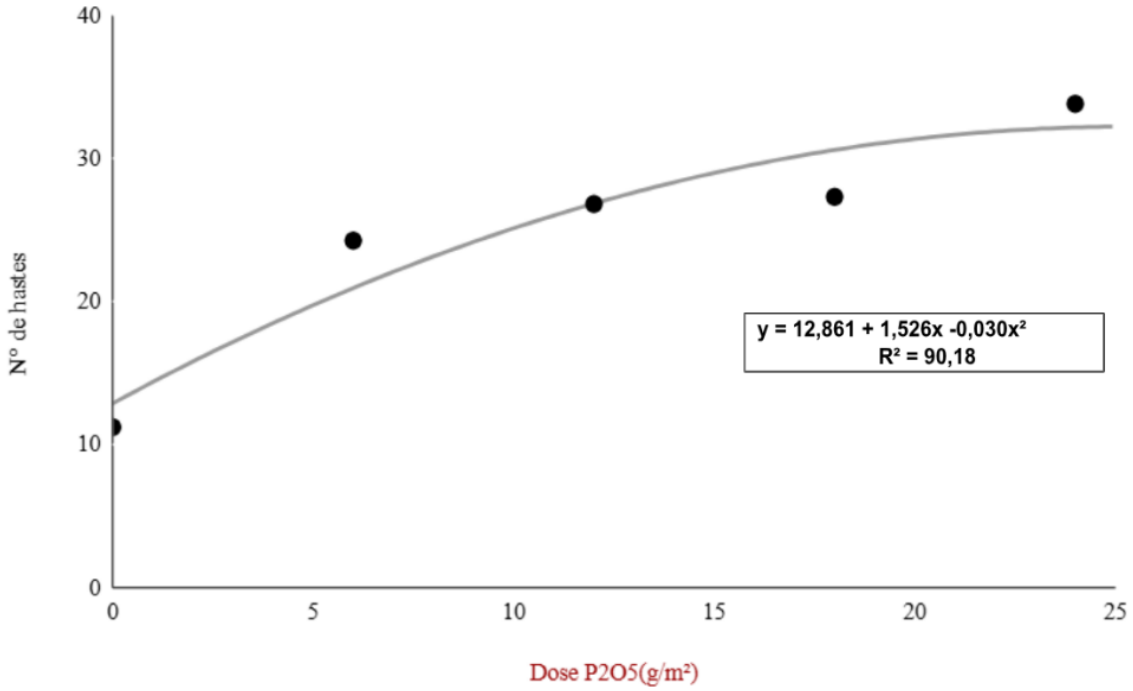


Figura 1. Curva média de produção de hastes florais de Statice em função de doses de P_2O_5.

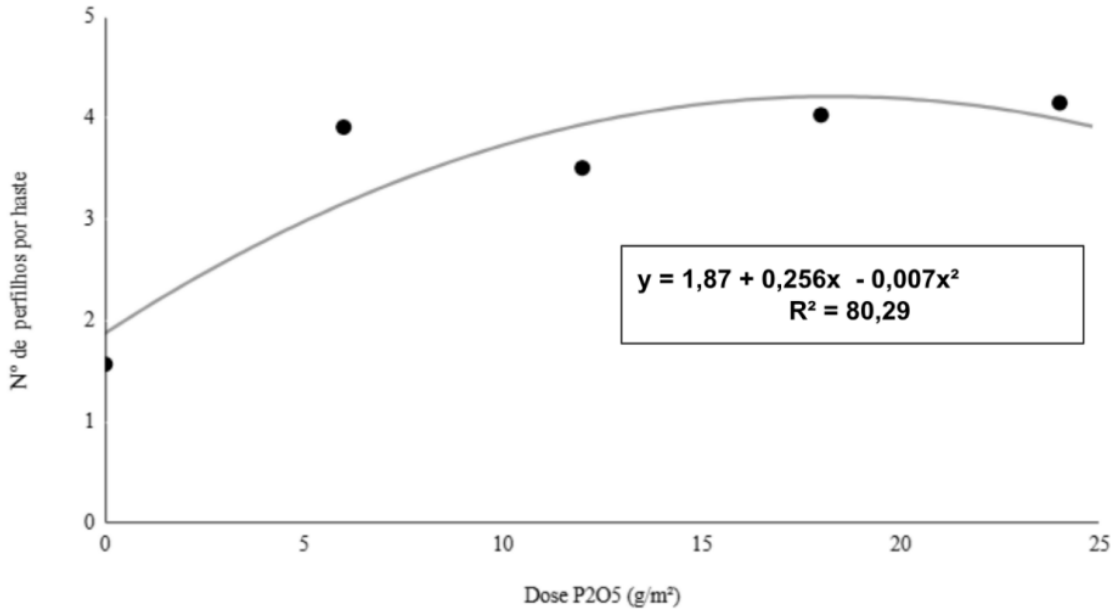


Figura 2: Curva média de de perfilhos por haste floral de Statice em função de doses de P_2O_5

CONCLUSÕES

A statice é responsiva a adubação fosfatada, tendo incremento produtivo para hastes e perfilhos.

AGRADECIMENTOS

Aos recursos e bolsa de estudos disponibilizados pelo Edital 14/2023/PROPPI/DAE.

A professora Leosane Cristina Bosco da UFSC - Curitibanos pela parceria e por nos estimular ao estudo com flores. Ao grupo de Estudos em Fertilidade e Nutrição de Plantas - Fertinutrican, pelo apoio na execução do estudo.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR J. P. L. **Inoculação de sementes com a estirpe 245 de Azospirillum: uma contribuição para o sistema de produção orgânico de mudas e flores de statice (*Limonium sinuatum*).** 2016. 69 p. Dissertação (mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica, 2016.

BATISTA, M.A.; INOUE, T. T.; NETO, M. E.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. *In:* BRANDÃO FILHO, J.U.T. *et al*. **comps. Hortaliças-fruto** [online]. Maringá: EDUEM, 2018, p. 113-162 Disponível em: https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006 Acesso em: 11 fev 2025.

CIOTTA, M. N.; NUNES, E. C. Potencial de produção de Limonium sinuatum na Serra Catarinense. *In:* 16° Congresso Brasileiro de Floricultura e Plantas Ornamentais / 3° Congresso Brasileiro de Cultura de Tecidos de Plantas / 1° Simpósio de Plantas Ornamentais Nativas. **ANAIS**

DA SILVA, L. G. **Produção de hastes florais de Limonium sinuatum em Dois Vizinhos - PR.** 2022. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). 2022.

EPAGRI, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, **Canoinhas Caracterização Regional**, 2003. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/diagnostico /CANOINHAS.pdf Acesso em: 03 fev 2025.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal.** Guanabara Koogan. 3. ed. Rio de Janeiro, 2019. 430 p. ISBN 978-85-277-3560-5.

ROSSATO, O. B.; BELLÉ, S.; SCHNITZER-RIBEIRO, J.A.; SOUZA, A. G. de.; TOMIOZZO, R. Solo e adubação de statice. *In:* TOMIOZZO, R. *et al*. **Statice: Cultivo e arte**. 2022. 1º edição. Santa Maria, p. 77-104, 2022.

SEGOVIA, J. F. O. Princípios de nutrição e adubação de flores e plantas ornamentais tropicais. *In:* BRASIL, **Floricultura tropical** : técnicas e inovações para negócios sustentáveis na Amazônia Brasília, DF : Embrapa, 2020. p. 67-112. ISBN 978-85-7035-890-5.

CRUZ, J. L., SOUZA FILHO, L.F.S., PELACANI, C.R. Influência da adubação fosfatada sobre o crescimento do camapu (*Physalis angulata* L.) **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Campinas, v.17, n.3, p.360-366, 2015.

VINHA, A. P. C.; CARRARA, B. H.; SOUZA, E. F. S.; SANTOS, J. A. F.; ARANTES, S. A. C. M. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. **Pesquisas Agrárias e Ambientais Nativa**, Sinop, v. 9, n. 1, p. 30-35, jan./fev.2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NA PRODUTIVIDADE DE AZEVÉM (*L. multiflorium Lam)*

Danieli Aparecida Kaminski Zientara[1], José Carlos Romanchuk[1], Murilo Girolimetto Kohler[1], Leandro Roberto da Cruz[2], Eliziane Luiza Benedetti[3]

[1] Estudantes de graduação de Agronomia, IFSC - Câmpus Canoinhas, [2] Professor, IFMT - Campus Sorriso, [3] Professora, IFSC - Campus Canoinhas. *danieli.ak07@aluno.ifsc.edu.br.

RESUMO

A adubação nitrogenada é essencial para a produtividade do azevém (*L. multiflorum Lam.*), uma forrageira amplamente utilizada devido ao alto valor nutricional e adaptabilidade ás condições do Sul do Brasil. Este estudo avaliou a produtividade do azevém submetido a diferentes doses de nitrogênio provenientes de fonte orgânica (cama de frango) e mineral. A semeadura foi realizada em 25/05/2023, com os tratamentos aplicados antes do plantio. A produtividade de massa fresca e seca foi analisada ao longo de quatro cortes para o tratamento orgânico e três para o mineral, simulando pastejo. Apesar das diferenças nas fontes de nitrogênio, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos orgânico e mineral quanto à produtividade do azevém. Isso sugere que a cama de frango pode ser uma alternativa viável ao fertilizante mineral, promovendo a sustentabilidade sem comprometer a produção.

PALAVRAS-CHAVE: nitrogênio, forrageira, cultura de inverno.

INTRODUÇÃO

O azevém anual (*Lolium multiflorum Lam*), é uma gramínea forrageira de inverno que é muito utilizada no mundo, em regiões de clima temperado e subtropical. No Brasil, a espécie se adaptou muito bem ás condições edafo-climáticas da região sul. Tendo um grande potencial de produção de massa, alta capacidade de rebrota, excelente valor nutricional e dupla finalidade de uso: silagem e feno (Pedroso *et al*., 2004). Apesar desses fatores o azevém necessita de nitrogênio (N), o qual é o principal nutriente para a manutenção da produtividade de pastagens, além de potencializar o rendimento, devido ao fato de ser constituinte de proteínas, sendo assim, fator essencial para o crescimento vegetal e para a alimentação animal.

Os fertilizantes nitrogenados mais utilizados no Brasil são a ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio (Cantarella, 2007). A ureia é o fertilizante nitrogenado mais usado no Brasil, principalmente por conter uma alta concentração de nitrogênio, tornando-o mais econômico. No entanto, quando distribuída na superfície do solo, parte do nitrogênio pode ser devido ao processo de volatilização (Rochette, 2009). Porém, a busca por novas alternativas por fontes de nitrogênio, como a utilização da cama de aviário, acaba tornando-se uma prática para otimizar os custos de produção, principalmente quando se tem a produção agroindustrial de criação de frango de corte na propriedade, consequentemente, torna a atividade mais sustentável.

O crescimento da atividade avícola na região sul do Brasil acaba gerando uma grande quantidade de resíduos orgânicos, sendo que a utilização da adubação com cama de aves, quando usada de forma correta, promove grande potencial de produção agrícola, podendo também ser utilizada em pastagens. Isso se deve principalmente em razão dos benefícios químicos, físicos e microbiológicos que são proporcionados ao solo. Porém, devemos respeitar os limites impostos em relação ao meio ambiente (Palhares e Kunz, 2011).

Devido ao elevado custo dos fertilizantes químicos, se observou um aumento na utilização de fertilizantes orgânicos, principalmente como fonte de nitrogênio para as plantas (Bulsing, 2023).

A utilização de N para a produção de forragem é de extrema importância para alcançar resultados satisfatórios, portanto, com o alto custo para a aquisição de fontes minerais torna-se possível a utilização da cama de aviário como uma fonte alternativa.

Baseado na hipótese que a adubação mineral pode ser substituída pela adubação orgânica para o fornecimento de nitrogênio para o cultivo de azevém anual, esse trabalho tem como objetivo avaliar o potencial produtivo do azevém submetido a adubação orgânica e mineral para suprimento de N.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Santa Catarina Campus Canoinhas, localizado a 26° 11 '04.6 "s 50° 22' 06.5"w, a altitude de 775 m, durante o período de 24/05/2023 a 13/09/2023. O clima da região, segundo Köppen é do tipo “Cfb” (Kottek *et al*., 2006).

Anteriormente a área na qual foi desenvolvido o experimento possuía pastagem. Foi realizado o preparo convencional do solo, com subsolagem e gradagem aradora e niveladora, uma única vez cada implemento.

A cultivar de azevém anual utilizada no experimento foi a Estanzuela LE 284. A semeadura foi realizada no dia 25/05/2023, de forma manual a lanço, correspondendo a 40,5 kg/ha de sementes, sendo esse valor corrigido de acordo com a taxa de pureza, germinação e forma de plantio. A área total do experimento corresponde a 96 m^2 , com 24 parcelas de 4 m^2 (2x2) cada, com espaçamento de 30 cm entre si.

O solo do local possui 76% de argila. O resultado da análise química de solo, para a camada de 0 a 20 cm de profundidade está demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo na profundidade de 0 - 20 cm.

Camada	pH		P	K	Mg	Ca	H+Al	$CTC_{pH\ 7,0}$	V	MO
(cm)	H_2O	SMP	---- mg/dm^3 -----		----------$cmol_c$/dm^3----------				--------- % --------	
0-20	5,2	5,5	1,2	172	2,3	4,3	7	14	50,1	3,3

As doses do fertilizante orgânico foram calculadas de modo a suprir 100 % da necessidade de N da cultura, correspondendo a 132 kg ha^{-1} de N. Para suprir essas demandas de N foram aplicadas o equivalente a 8.570 kg ha^{-1} de cama de aves em base seca. Com essa dose de adubo orgânico, foram adicionados 143 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 226 kg ha^{-1} de K_2O. Para o tratamento mineral, aplicou-se a dose recomendada de 132, 170 e 60 kg ha^{-1} respectivamente para N, P_2O_5 e K_2O, utilizando, respectivamente, ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados com quatro repetições.

Para a determinação do ponto de colheita foram utilizadas datas padronizadas com intervalos de 20 dias, aproximadamente, após cada corte. Obteve-se um ciclo total de 91 dias, onde foram realizados 3 cortes. O primeiro corte foi realizado no dia 14/07/2023, correspondendo a 51 dias após a semeadura. O segundo e terceiro corte foram realizados nos dias 04/08/2023 e 24/08/2023, respectivamente. Todos os cortes foram realizados em média a 6 cm do solo, com exceção da testemunha, que devido ao seu baixo desenvolvimento, o seu corte era feito mais próximo do solo. Com auxílio de um gabarito de 0,50 m x 0,50 m, que era lançado dentro em dois lugares da parcela de forma aleatória, efetuou-se a corte do azevém no mesmo dia para todos os tratamentos com o auxílio de uma tesoura de jardim. Imediatamente após a coleta, o material foi pesado para determinação da Massa Fresca e após secagem em estufa determinou-se a Massa Seca.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados coletados (Tabela 2), a adubação orgânica e mineral influenciaram positivamente a produção. Para o tratamento orgânico obteve-se produção total de 3,5 t ha^{-1} de MS, e para

o tratamento mineral foi de 3,7 t ha^{-1} de MS. Apesar do resultado mineral ser ligeiramente maior do que o orgânico, não houve diferença significativa para PTMF e PTMS ($p \leq 0,05$). Mostrando que independente da fonte, ambos foram eficazes. Entretanto, comparando o tratamento orgânico com a testemunha, podemos notar uma produção de aproximadamente 11,6 vezes maior.

Tabela 2. Teste de comparação de média para Produção Total de Massa Fresca (PTMF) e Produção Total de Massa Seca (PTMS) de azevém comparando os tratamentos: testemunha, orgânico e mineral.

Tratamentos	PTMF t ha^{-1}	PTMS t ha^{-1}
Testemunha	1,4 a	0,3 a
Orgânico	24,7 b	3,5 b
Mineral	25,2 b	3,7 b
CV (%)	4,16	5,45

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F ($p \leq 0,05$);

Em estudo de Filho *et al*., (2003) utilizando adubação organo-mineral e química, concluíram que os parâmetros quantitativos não tiveram diferenças significativas para a produção de azevém. Colaborando com os dados do trabalho, onde também, as diferentes fontes não obtiveram diferença.

Em um trabalho realizado por Prado *et al*., (2024) comparou adubação orgânica e mineral na produção de azevém, onde foi realizado quatro cortes. Tendo como um melhor resultado a adubação mineral nos três primeiros cortes e no quarto corte um melhor resultado da adubação orgânica. Demonstrando o efeito mais tardio da adubação orgânica, principalmente no que se refere a disponibilização dos nutrientes. Tanto a adubação orgânica, quanto a mineral trazem benefícios. Os benefícios da adubação orgânica são: a melhoria da fertilidade do solo, sustentabilidade e menor impacto ambiental e melhora a estrutura do solo. Já os benefícios da adubação mineral são: a disponibilidade imediata de nutrientes, precisão na formulação nutricional e a facilidade de aplicação e manuseio.

Observa-se neste experimento, tanto a adubação orgânica como mineral possuem resposta produtiva semelhante, porém os custos podem ser diferentes de acordo com a origem do material, sendo esse fator determinante para a tomada de decisão.

CONCLUSÕES

Tanto a adubação orgânica como a química possuem potencial de produção semelhante para as condições apresentadas durante o experimento.

AGRADECIMENTOS

Instituto Federal de Santa Catarina câmpus Canoinhas. Grupo de estudo em Fertilidade e Nutrição de Plantas – FERTINUTRICAN, pelo apoio na condução do estudo.

BIBLIOGRAFIA

BULSING, D. S. **Adubação orgânica e inoculação com *Azospirillum brasilense* em cultivo de azevém.** Cachoeira do Sul, 2023.

CANTARELLA, H. VII - Nitrogênio. *In:* Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. p.375-470. 2007 Volatilização de Amônia de Fertilizantes Nitrogenados de Eficiência Aumentada. 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FILHO, D. C. A.; NEUMANN, M.; RESTLE, J.; SOUZA, A. N. M.; PEIXOTO, L. A. O. **Características agronômicas produtivas, qualidade e custo de produção de forragem em pastagem de azevém (Lolium multiflorum Lam) fertilizada com dois tipos de adubo**. Ciência Rural, v. 33, n. 1, p. 143–149, 2003.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. Meteorologische zeitschrift. Berlin, v.15, p. 259-263, 2006.

PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. **Manejo Ambiental na Avicultura**. EMBRAPA, 2011. Disponível em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57055/1/manejo-ambiental-na-avicultu ra.pdf>. Acesso em: 31 maio 2023.

PEDROSO, C. E. S.; MEDEIROS, R. B.; SILVA, M. A.; JORNADA, J. B. J.; SAIBRO, J. C.; TEIXEIRA, J. R. F. Comportamento de ovinos em gestação e lactação sob pastejo em diferentes estágios fenológicos de azevém anual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1340-1344, 2004.

PRADO, C. E. D.; MATHIAS, G. M.; OLIVEIRA, F. Q.; CAMBRUZZI, C. **Comparativo da adubação química, orgânica e organomineral na produção do azevém.** 25ª Feira do conhecimento tecnológico e científico, Rio do Sul, 2024.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; MACDONALD, J. D.; BISSONNETTE, N.; BERTRAND, N. **Ammonia volatilization following surfasse application of urea to tilled and no-till soils: a laboratory comparison**. Soil and Tillage Research, v.103, p. 310-315, 2009.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

COMBINAÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO E AMINOÁCIDO PARA AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE MILHO (*Zea mays*)

Luana Maria dos Santos Czaja[1]; Gustavo Lechinhoski Zarur[2]; Kleber Henrique Cabrini Junior[3]; Bruna Ramalho[4]; Marcos Antonio Dolinski[5].

[1,2,3] Estudante de graduação na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR *kleber.junior@utp.edu.br, [4,5] Professor na Universidade Tuiuti do Paraná – UTP, Curitiba-PR.

RESUMO

A produtividade do milho pode ser influenciada pela aplicação de nitrogênio, nutriente essencial cuja eficiência pode aumentar com a adição de aminoácidos. Este estudo avaliou a produtividade do milho com doses de nitrogênio, com ou sem a aplicação de aminoácidos. Os tratamentos consistiram em: 0, 120 e 240 kg N ha^{-1}, além de 120 e 240 kg N ha^{-1}, na forma de ureia, combinados com aminoácidos (2 L ha^{-1} de produto comercial ha^{-1}). O nitrogênio foi aplicado em cobertura no estádio V5 e os aminoácidos no estádio V6, via foliar. O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. Foram avaliados: comprimento de espiga (cm), número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de mil grãos (g) e produtividade (kg/ha). A aplicação de até 240 kg ha^{-1} de nitrogênio aumentou a produtividade e os parâmetros avaliados com adição ou não do aminoácido.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*; ureia; adubação nitrogenada; aminoácidos.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, cultivado para alimentação, ração animal e uso industrial, destacando-se pela alta produtividade e versatilidade. Em virtude da sua pluralidade de aplicações até a indústria de alta tecnologia assume relevante papel socioeconômico; além disto, se constitui em matéria-prima indispensável, impulsionadora de diversificados complexos agroindustriais (FANCELLI *et al*., 2008).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pela cultura do milho desempenhando importante papel no acúmulo de proteína e na produtividade de grãos (PAVINATO *et al*., 2008), podendo aumentar o peso da espiga e a porcentagem de óleo. Os fertilizantes nitrogenados são produzidos, sobretudo a partir de combustíveis fósseis e não renováveis e quando utilizados em quantidades excessivas ou situações desfavoráveis podem ser perdidos por volatilização ou lixiviação e, eventualmente, se convertem em poluentes ambientais (CANTARELLA *et al*., 2008).

A fonte de N mais utilizada na agricultura brasileira é a ureia, seguida do sulfato de amônio. A ureia tem como vantagem um teor elevado de Nitrogênio (45 %) o que permite uma otimização dos custos com transporte e aplicação. Todavia, essa fonte apresenta um alto potencial de perdas atmosféricas por volatilização (PICOLLI *et al*., 2009). Para evitar essas perdas pode-se adotar práticas como a incorporação ao solo, aplicação após chuva de 15 a 20mm e nas horas mais amenas do dia, ou uso de ureia com inibidores de uréase.

A aplicação de N via foliar com aminoácidos pode suplementar o fornecimento via solo em determinados estágios de crescimento. O uso de fertilização direta nas plantas com aminoácidos livres reduz a transformação química do nitrogênio nítrico e amoniacal em aminoácidos. Além disso, os aminoácidos são rapidamente incorporados ao metabolismo como se fossem sintetizados pela planta contribuindo para o processo de desenvolvimento e crescimento (LIMA *et al*., 2009).

O objetivo com este trabalho foi de avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio associadas ou não a aminoácidos na de produção de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área comercial durante a safra 2023/2024 no município da Lapa-Paraná, com altitude média de 900 m, localizada nas coordenadas geográficas 25°40'48.9"S, 49°38'45.0"O. A área está inserida em uma região classificada como Cfb (Köppen). O solo onde foi conduzido o experimento é do tipo Cambissolo (EMBRAPA *et al*., 2017). As características químicas do solo anteriormente a instalação do experimento está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise de solos de solo realizada na profundidade de 0 a 20cm, antes da instalação do experimento.

pH	Al	Al + H	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	T	P	P. rem.	M.O	V
$CaCl_2$	----------			$Cmol_c/dm^3$	----------		mg/dm^3	-----	%	%
5,0	0,0	6,69	7,14	3,46	0,31	17,60	31,27	11,6	3,98	61,99

A semeadura do milho Ag 9021 IPRO3, foi realizada no dia 22/08/2023 com população final média de 80 mil plantas por ha^{-1}. Foi realizada a adubação de semeadura com aplicação de 495 kg ha^{-1} do formulado N-P-K 08-20-20. O delineamento experimental utilizado foi em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e três repetições, totalizando 15 parcelas, a unidade experimental foi composta por área de 5 m x 4,5 m totalizando em 22,5 m^2 cada parcela. Os tratamentos consistiram em doses de nitrogênio combinadas ou não com aminoácidos (Aminoplus®). As doses de nitrogênio utilizadas foram 0, 120, 240, 120 + aminoácido (2 L produto comercial ha^{-1}) e 240 + aminoácido (2 L produto comercial ha^{-1}) de N ha^{-1}. A fonte de nitrogênio utilizada foi ureia aplicada em cobertura na fase V5 e o aminoácido utilizado (N 132 g L^{-1}, óxido de potássio 12 g L^{-1} e carbono orgânico 72 g L^{-1}) foi aplicado via foliar na fase V6.

Durante o ciclo da cultura foi aplicado herbicida a base de glifosato, cletodim, saflufenacil e atrazina+mesotriona sendo em pré-plantio e V3, fungicidas mancozeb e piraclostrobina; epoxiconazol aplicados em V8, e inseticidas clorantraniliprole, bifentrina+carbossulfano, benzoato de emamectina.

As variáveis analisadas foram o comprimento de espiga (cm), número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de mil grãos (g) e produtividade (hg/ha). O comprimento de espiga foi determinado após a colheita por meio da medição de dez espigas colhidas aleatoriamente na área útil de cada parcela, com os resultados expressos em centímetros. O número de fileiras de grãos foi obtido por meio da contagem das fileiras em dez espigas amostradas ao acaso em cada parcela, enquanto o número de grãos por fileira foi determinado pela contagem dos grãos presentes nas fileiras dessas espigas. O número total de grãos por espiga foi calculado pelo produto entre o número de fileiras e o número de grãos por fileira nas espigas amostradas. A massa de mil grãos foi determinada após a debulha, a partir da pesagem de uma amostra aleatória de cada parcela, com correção imediata da umidade. Já a produtividade foi estimada pela pesagem dos grãos provenientes de todas as espigas colhidas na área útil das unidades experimentais, sendo os valores corrigidos para umidade de 13%.

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e quando estes foram significativos, ao nível de 5 % de probabilidade, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, utilizando-se o programa Sisvar® versão 5.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de doses de nitrogênio até a dose de 240 kg ha^{-1} aumentou o comprimento da espiga, no entanto, não alterou o número de fileiras de grão por espiga, com ou se a adição de aminoácidos (Tabela2).

Tabela 2. Comprimento de espiga (cm), número de fileiras por espiga e número grãos por fileira para milho Ag 9021 IPRO3, com aplicação de doses de nitrogênio em cobertura (N) em kg ha^{-1}, na forma de ureia e aminoácido foliar (N 132 g L^{-1}, óxido de potássio 12 g L^{-1} e carbono orgânico 72 g L^{-1}) 2 L do produto comercial ha^{-1}, no município da Lapa-PR, durante a safra 2023/24.

Tratamento	Comprimento da espiga (cm)	Número de fileiras por espiga	Número de grãos por fileira
Testemunha	10,83 c	14,66 a	22,00 c
120 N	14,67 b	16,00 a	26,60 b
240 N	17,83 a	16,00 a	31,60 a
120 N + aminoácido	15,00 b	16,00 a	26,00 bc
240 N + aminoácido	17,83 a	16,00 a	32,00 a
[1]C.V. %	5,41	4,29	5,93

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.
[1]Coeficiente de variação.

A aplicação de doses de nitrogênio até a dose de 240 kg ha^{-1} resultou em incremento no número de grãos por espiga e massa de mil grãos o que resultou em aumento na produtividade, o aumento observado na maior dose de N ocorreu com ou sem a aplicação de aminoácido (Tabela 3). As produtividades obtidas nas doses de 120 e 240 kg ha^{-1} resultaram em aumento de 49 e 143 %, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Número de grãos por espiga, massa de mil grãos (g) e produtividade (kg ha^{-1}) para milho Ag 9021 IPRO3, sob aplicação de doses de nitrogênio (N) em cobertura em kg ha^{-1}, na forma de ureia e aminoácido foliar (N 132 g L^{-1}, óxido de potássio 12 g L^{-1} e carbono orgânico 72 g L^{-1}) foi aplicado 2 L por ha^{-1}, no município da Lapa - PR, durante a safra 2023/24.

Tratamento	Número de grãos por espiga	Massa de mil grãos (g)	Produtividade (kg ha^{-1})
Testemunha	323 c	115 c	3.820 c
120 N	427 b	168 b	5.700 b
240 N	507 a	230 a	9.320 a
120 N + aminoácido	416 b	168 b	5.560 b
240 N + aminoácido	512 a	230 a	9.420 a
C.V. %	5,96	1,63	5,87

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.
[1]Coeficiente de variação.

O aumento da dose de N aplicado proporcionou efeito positivo para a massa de mil grãos. A máxima resposta foi obtida na dose de 240 kg ha^{-1} (Tabela 3). Dados semelhantes foram encontrados por Amaral Filho *et al*., (2005) e Silva *et al*., (2005), que obtiveram aumento na massa dos grãos com a aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. O aumento na massa de mil grãos pode ser explicado pelo fato de que maiores doses de nitrogênio mantem a atividade fotossintética por um período mais prolongado, o que resulta no maior acúmulo de reservas nos grãos (DOURADO *et al*., 2004). O incremento no número de grãos por espiga obtidos neste trabalho corrobora com outros trabalhos que também obtiveram aumento linear do número de grãos por espiga com a aplicação de nitrogênio (AMARAL *et al*., 2005; SORATTO *et al*., 2010).

O nitrogênio pode proporcionar o aumento do número de óvulos formados por fileira e favorece a produção de fotoassimilados reduzindo, deste modo, o abortamento de grãos resultando no acréscimo dos

componentes comprimento de espiga e número de grãos por espiga (MAGALHÃES *et al*., 2002). Comumente o incremento de nitrogênio resulta em aumento na produtividade quando comparada com a testemunha (DOURADO *et al*., 2004).

CONCLUSÕES

A aplicação de nitrogênio até 240 kg ha^{-1} em cobertura aumenta o comprimento de espiga, número de grãos por fileira e por espiga, a massa de mil grãos e a produtividade, com ou sem a adição de aminoácido.

BIBLIOGRAFIA

AMARAL Filho, J. P. R.; Fornasieri Filho, D.; Farinelli, R.; Barbosa, J. C. **Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.467-473, 2005.

CANTARELLA, H.; Marcelino, R. **Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho.** *In:* Fancelli, A. L. (ed). Milho - Nutrição e adubação. Piracicaba: FEALQ, 2008. p.36-55.

DOURADO Neto, D.; Favarin, J. L.; Manfron, P. A.; Pilau, F. A.; Soares, M. A.; Bonnecarrere, R. A. G.; Ohse, S. **Efeito de boro e nitrogênio na cultura do milho.** Insula, v1, p.51-67, 2004.

EMBRAPA solo. **Solos do Brasil.** Disponível em: https://www.embrapa.br/solos/sibcs/solos-do-brasil.

FANCELLI, A. L.; D. Dourado Neto. **Produção de milho.** Guaíba: 2.ed., Agropecuária. 2008. 360p.

LIMA, M. da G. de S.; Mendes, C. R.; Nascimento, R. do; Lopes, N. F.; Carvalho, M. A. P. **Avaliação bioquímica de plantas de milho pulverizadas com ureia isolada e em associação com aminoácidos.** Revista Ceres, v.56, p.358- 363, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; Durães, F. O. M.; Carneiro, N. P.; Paiva, N. **Fisiologia do milho.** Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 2002. 23p. Circular Técnica, 22

PAVINATO, P. S.; Ceretta, C. A.; Girotto, E.; Moreira, I. C. L. **Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização.** Ciência Rural, v.38, p.358-364, 2008.

PICOLLI, E. S.; Marchioro, V. S.; Bellaver, A.; Bellaver, A**. Aplicação de produtos a base de aminoácidos na cultura do trigo.** Cascavel: Cultivando o saber, v.2, p.141-148, 2009.

SILVA, E. C. da; Buzetti, S.; Guimarães, G. L.; Lazarini, E.; Sá, M. E. de. **Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.353-362, 2005.

SORATTO, R. P.; Pereira, M.; Costa, T. A. M.; Lampert, V. N. **Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja.** Revista Ciência Agronômica, v.41, p.511-518, 2010.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ADITIVOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA E FONTES NITROGENADAS: IMPLICAÇÕES NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO NO PRIMEIRO PLANALTO PARANAENSE

Marina Ukan Halama* [(1)], Suelen Farias[(1)], Bruna Stewart[(2)], Henrique Almeida Santos Ducheiko[(2)], Jeferson Dieckow[(3)]

[(1)] Estudante de Agronomia UFPR, *marinaukan@ufpr.br; [(2)] Estudante de mestrado do PPG Ciência do Solo UFPR; [(3)] Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola UFPR

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de aditivos de eficiência aumentada e de fontes nitrogenadas sobre o rendimento de grãos de milho e características de planta, em cultivo de milho em plantio direto, nos anos 2022/23 (ano 1) e 2023/24 (ano 2), num Cambissolo Háplico, em Pinhais PR. A dose aplicada em cobertura foi de 150 kg N ha^{-1}. Os aditivos e as fontes nitrogenadas foram: ureia, ureia + NBPT, ureia + alginato de sódio, nitrato de amônio e controle sem N. Os aditivos de eficiência aumentada NBPT ou alginato de sódio adicionados à ureia e a fonte nitrato de amônio não aumentaram o rendimento de grãos de milho e nem incrementaram as características de planta em relação a aplicação de ureia pura. Porém, a aplicação de nitrogênio, independente do uso de aditivos e da fonte, aumentou em média 62% o rendimento de grãos de milho.

PALAVRAS-CHAVE: aditivos de eficiência aumentada; fontes nitrogenadas; rendimento de grãos de milho; características de planta.

INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais cultivados no mundo por conta de sua grande relevância na nutrição humana e animal, além da produção de etanol. Na atual conjuntura, o Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores do grão, impactando no cenário de oferta e demanda global. Essa crescente demanda por milho aumenta também o uso de fertilizantes nitrogenados, visto que o N é um elemento essencial às plantas, refletindo diretamente no rendimento de grãos da cultura, uma vez que possui papel fundamental no metabolismo vegetal por estar envolvido diretamente na produção de proteínas e clorofila. O suprimento inadequado desse nutriente pode se tornar um importante fator limitante ao rendimento de grãos (Fernandes, 2008).

A principal fonte de N utilizada no estado do Paraná é a ureia (amina – $(NH_2)_2CO$)), devido ao seu baixo custo, fácil operação e alta concentração de N por quilo de produto, tendo seu principal uso na adubação de cobertura, após a emergência ou plantio das culturas. Nas condições paranaenses, após sua aplicação, a ureia sofre hidrólise e resulta em elevados potenciais de perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (NH_3) (Pauletti e Motta, 2019); e por isso é necessário buscar soluções e fontes alternativas para a aplicação em cobertura visando o aumento da eficiência do uso do N.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos aditivos de eficiência aumentada NBPT e alginato de sódio e das fontes nitrogenadas ureia e nitrato de amônio sobre o rendimento de grãos de milho no Primeiro Planalto Paranaense.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido por duas safras de milho na Fazenda Experimental Canguiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizada no munícipio de Pinhais PR, em Área de Preservação Ambiental (APA). A área de pesquisa está disposta na latitude de 25°23’41,5” Sul e longitude 49°7’43,9” Oeste, em altitude aproximada de 930 metros. O clima da região é caracterizado como subtropical úmido

mesotérmico (Cfb, Köppen), e conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos a área em estudo possui um solo do tipo Cambissolo Háplico (Santos *et al*., 2018) de textura argilosa (500 g kg^{-1} de argila).

A semeadura do híbrido de milho AS1757 PRO4 ocorreu no ano 1 em 24/10/2022 e no ano 2 em 21/09/2023, em plantio direto sobre a palhada de aveia preta. O espaçamento entrelinhas foi de 45 cm, a densidade de plantas foi 65 mil ha^{-1}, e a adubação de base incluiu 32 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} de K_2O pelo formulado 08-20-20. O manejo de plantas espontâneas foi realizado manualmente e o controle de pragas efetuado com o uso de produtos biológicos, sem uso de produtos sintéticos devido ao fato do experimento estar numa APA.

O experimento constituiu de cinco tratamentos de aditivos de eficiência aumentada e ou fontes de N na adubação nitrogenada de cobertura no milho: (i) controle, sem aplicação de N; (ii) ureia comum, com 40% de N; (iii) ureia + NBPT, inibidor da urease, N-(n-butil) tiofosfórico triamida, 40% de N; (iv) ureia + alginato de sódio, produto Nanofert desenvolvido pela Embrapa Florestas, 25% de N; e (v) nitrato de amônio, com 27% de N. O delineamento experimental foi blocos ao acaso (DBA), com quatro repetições e 20 parcelas de 48 m^2. Os fertilizantes foram aplicados manualmente a lanço sobre a superfície do solo, em 07/12/2022 para o ano 1 e em 21/11/2023 para o ano 2, quando as plantas estavam majoritariamente em V5. A dose de N aplicada foi equivalente a 150 kg N ha^{-1}.

A altura de inserção da espiga (solo até base da espiga) e a altura da planta (solo até topo do pendão) foram avaliadas com trena e o diâmetro de colmo foi avaliado com paquímetro digital em 10 plantas escolhidas aleatoriamente na área útil de cada parcela. O peso de mil grãos foi avaliado a partir das espigas destas 10 plantas, com pesagens em 8 conjuntos de 100 grãos por parcela, tendo sua média calculada após a umidade ser convertida para 13%, seguindo a metodologia proposta pelo RAS, 2009.

Para determinar a produtividade de grãos, todas as espigas da área útil foram colhidas quando as plantas atingiram o estádio fenológico de R8. A umidade das espigas foi estimada a partir da análise de uma alíquota individual para cada parcela, com o auxílio de um medidor de umidade de sementes digital. Posteriormente, todos os grãos das parcelas foram pesados e tiveram sua umidade corrigida para 13%, metodologia proposta por Calonego, 2011.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett), além de serem realizadas análises de variância (ANOVA). No caso de significância estatística, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si utilizando o Teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software R, utilizando os pacotes Agricolae e MASS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de nitrogênio em cobertura incrementou o peso de mil grãos em 13-15% em relação ao controle, porém não houve diferença entre os aditivos de eficiência aumentada e nem entre as fontes utilizadas (Tabela 1), como também verificado por Jesus *et al*. (2023) e Queiroz *et al*. (2011), respectivamente; indicando apenas um efeito benéfico proporcionado pela aplicação de N no momento e na dose corretos (Souza *et al*., 2016).

Com relação ao diâmetro do colmo das plantas, foi encontrada uma maior espessura de colmo no tratamento com ureia + alginato de sódio e ureia + NBPT, atingindo um aumento de 15,3% e 16,6%, no ano 1 e 2, respectivamente, quando comparado ao controle. Porém entre os aditivos não houve diferença no diâmetro de colmo, como também observado por Sousa *et al*., (2023); e nem entre as fontes empregadas, indicando um incremento resultante da dose de nitrogênio aplicada em relação a testemunha (0 kg N ha^{-1}), como observado também por Villetti *et al*. (2015).

Para a altura de planta e altura de inserção de espiga, os resultados obtidos no ano 1, demonstraram que não houve efeito significativo da aplicação de N em ambas as variáveis, provavelmente por se tratar da primeira safra, coincidindo com os resultados encontrados por Souza *et al*., (2016), em que as fontes de N

não influenciaram a altura de planta e a altura de inserção da primeira espiga no primeiro ano. Porém, no ano 2 os resultados observados demonstraram que houve um aumento de até 12,45% na altura de planta e 16,66% na altura de inserção de espiga em relação ao controle, quando os tratamentos utilizados foram ureia + NBPT, e nitrato de amônio ou ureia + alginato de sódio, respectivamente, sem variação entre o uso de aditivos de eficiência aumentada adicionados à ureia e as fontes utilizadas, evidenciando novamente a importância do manejo correto da aplicação de N (Villetti *et al*., 2015; Ebertz *et al*., 2019).

Tabela 1. Características de planta e rendimento de grãos de milho afetados pelos aditivos de eficiência aumentada NBPT e alginato de sódio e pelas fontes nitrogenadas ureia e nitrato de amônio. Pinhais – PR.

Aditivo/fonte	PMG (g)	Diâmetro do colmo (mm)	Altura de planta (m)	Altura de inserção de espiga (m)	Rendimento de grãos (t ha^{-1})
ANO 1, 2022/23					
Ureia	371,14 a	19,45 ab	2,43 a	1,40 a	8,37 a
Ureia + NBPT	364,35 a	19,06 ab	2,48 a	1,44 a	8,35 a
Ureia + Alginato Na	366,28 a	19,76 a	2,45 a	1,45 a	8,02 a
Nitrato de Amônio	373,01 a	19,10 ab	2,39 a	1,37 a	9,03 a
Controle	325,73 b	17,14 b	2,35 a	1,35 a	5,24 b
ANO 2, 2023/24					
Ureia	291,79 a	18,46 ab	2,52 a	0,96 ab	7,00 a
Ureia + NBPT	304,58 a	19,25 a	2,59 a	0,99 a	7,07 a
Ureia + Alginato Na	308,33 a	19,01 a	2,59 a	1,00 a	7,55 a
Nitrato de Amônio	297,54 a	18,46 ab	2,56 a	1,00 a	6,82 a
Controle	262,27 b	16,50 b	2,30 b	0,85 b	4,38 b

Notas: valores seguidos da mesma letra na coluna e no ano não apresentam diferença significativa segundo o Teste de Tukey ($p < 0,05$). PMG, peso de mil grãos.

Seguindo uma tendência semelhante, o rendimento de grãos foi superior quando aplicado o N, com incrementos de até 72% no tratamento nitrato de amônio (ano 1) e ureia + alginato de sódio (ano 2), em relação ao controle sem N. No entanto, não houve diferença significativa entre o uso de aditivos de eficiência aumentada adicionados à ureia e as fontes utilizadas, indicando que o principal fator determinante do rendimento foi a disponibilidade de N e sua influência no crescimento e desenvolvimento das plantas (Queiroz *et al*., 2011; Jesus *et al*., 2023).

CONCLUSÕES

Os aditivos de eficiência aumentada NBPT ou alginato de sódio adicionados à ureia não aumentaram o rendimento de grãos de milho em relação à ureia pura. Da mesma forma, a fonte nitrato de amônio não aumentou o rendimento de grãos de milho em relação à fonte ureia. Porém, a aplicação de nitrogênio, independente do uso de aditivos e da fonte, aumentou em média 62% o rendimento de grãos de milho.

AGRADECIMENTOS

CNPq, pela bolsa de IC. EMBRAPA Florestas, UFRGS e Yara Fertilizantes pelo suporte financeiro e analítico. Equipe da Fazenda Canguiri, pelas valiosas contribuições na realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

CALONEGO, J. C., POLETO, L. C., DOMINGUES, F. N., & TIRITAN, C. S. **Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas.** *Agrarian*, *4*(12), 84-90, 2011.

EBERTZ P. J., MERGENER R. A., ROSSA L. W., **Influência de fontes e doses de nitrogênio na altura de inserção de espigas de milho,** 2019.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L.; TRIVELIN, P. C. O. **Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho e utilização do N residual pela sucessão aveia preta-milho.** Ciência Rural, v. 38, n. 4, p. 1138–1141, 2008.

JESUS, C. A. D.; CABRAL F. F. R.; ANDRADE, C. L. L. D.; SILVA, E. C. D. **Avaliação de produtividade do milho safrinha sob diferentes fontes e doses de nitrogênio.** Brazilian Journal of Science, v. 2, n. 1, p. 42–52, 2023.

KAPPES, C., ANDRADE, J. A. D. C., ARF, O., OLIVEIRA, A. C. D., ARF, M. V., & FERREIRA, J. P. **Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas**. *Bragantia*, *70*, 334-343, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO./ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : Mapa/ACS, 399 p. 2009.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná.** 2. ed. Sbcs - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 58-59 p, 2019.

QUEIROZ, A. M.; SOUZA, C. H. E.; MACHADO, V. J.; *et al*. **Avaliação de Diferentes Fontes e Doses de Nitrogênio na Adubação da Cultura do Milho (Zea mays L.).** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 10, n. 3, p. 257–266, 2011.

SANTOS, H. G. *et al*. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SOUSA, Amanda da Cunha; DE SOUSA NETO, Joaquim Antonio; REZENDE, Cláudia Fabiana Alves. ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO COM DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, *[S. l.]*, v. 10, n. 2, p. 1–8, 2023. DOI: 10.37951/2358-260X.2023v10i2.6738. Disponível em: https://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/cientifica/article/view/6738. Acesso em: 28 fev. 2025.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; MOREIRA, A. **Fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio em culturas de milho em sistema plantio direto**. *Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas,* v. 47, n. 19, p. 2200-2207, 2016.

VILLETTI, Henrique Lovattel; ORSO, Giovana; KRENCHINSKI, Fábio Henrique; ALBRECHT, Leandro Paiola; ALBRECHT, Alfredo Júnior Paiola; PEREIRA, Vinicius Gabriel Caneppele; MORENO, Giovane. **Fontes e doses de nitrogênio no desempenho vegetativo e produtivo na cultura do milho**. *Revista Cultura Agronômica*, v. 24, n. 4, p. 333-342, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVALIAÇAO DE PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO À ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO

Guilherme Ramos Santos[1], Gabriela Vargas Schmoller[2] Geovana Beatriz Mandriki[3], Julia Maria Longo[4], Paulo Cesar Conceição[5]

[1]Graduando de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos email: guifengenheirom26@gmail.com; [2]Graduando de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos; [3] Graduando de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos; [4] Graduando de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos; [5]Professor do Programa de Pós-graduação em Agronomia e do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, UTFPR Campus Dois Vizinhos

RESUMO

A adubação nitrogenada é um dos principais responsáveis pelo aumento de produtividade. Esse experimento visa avaliar o efeito da adubação nitrogenada na produtividade do milho através combinação das plantas fixadoras de nitrogênio e fertilizante. O experimento foi realizado na utfpr-dv, em área de 1845 metros lineares, foi dividida em 3 blocos de 15 metros, cada bloco com 3 repetições, totalizando 9 repetições estabelecendo 3 tratamentos, incluindo a testemunha. Foi utilizado como plantas de cobertura antes do cultivo do milho, 11 materiais diferentes, como objetivo der fornecer nitrogênio. Foi feita à aplicação de fertilizante alanco, utilizado as seguintes doses de ureia, 0N, 180N kg/ha, e utilizemos gesso e 180N. O milho das parcelas foi colhido, pesado e convertido para a umidade de 14%, a massa de 1.000 grãos foi determinada pelo total de grãos debulhados de cada parcela

PALAVRA-CHAVES: produtividade do milho; fertilizante; plantas fixadoras de nitrogênio.

INTRODUÇÃO

O milho (Zea mays L.) é considerado uma das principais espécies utilizadas no Brasil, visto que, anualmente, são cultivados cerca de oito milhões de hectares, os quais contribuem para a produção de, aproximadamente, 54 milhões de toneladas de grãos (Abramilho, 2011). Assim, mostra-se premente a ampliação do conhecimento da planta de milho e do ambiente de produção, aliada à avaliação presente e futuro dos cenários agrícolas local e mundial, para o estabelecimento de sistemas de produção eficientes e racionais, objetivando a obtenção de resultados satisfatórios quanto a produtividade, qualidade do produto, sustentabilidade da atividade e lucros. Atualmente, o aspecto mais importante no manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho, inserida no sistema plantio direto, refere-se à época de aplicação da cobertura nitrogenada, a necessidade de seu parcelamento e a fonte a ser utilizada (Fancelli *et al*., 2002).

O nitrogênio é um dos nutrientes que apresentam os efeitos mais expressivos no aumento da produção de grãos, na cultura do milho. Tem grande importância como constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos, além de sua importante função como integrante da molécula de clorofila (Gross *et al*., 2006).

De acordo com Andreucci(2007), o nitrogênio é um dos *elementos* mais exigidos e fornecidos em sistemas agrícolas. O nitrogênio é um nutriente essencial para as plantas, sendo fundamental para o seu crescimento e desenvolvimento. A adubação nitrogenada é uma prática fundamental para o manejo de lavouras, pois ajuda a aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos. No entanto, o manejo de adubações nitrogenadas pode ser complexo, devido a vários fatores, como o custo dos fertilizantes e as condições climáticas. O excesso de nitrogênio pode ser um desequilíbrio que ocorre em solos com alto teor de matéria orgânica e/ou com uso abusivo de adubação nitrogenada. O nitrogênio em excesso pode ser um poluente perigoso, envenenando corpos de água, plantas, animais e humanos.

A exigência de N pelas plantas é consequência da sua função estrutural, pois ela faz parte da molécula de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de muitas enzimas. O

vegetal também depende do N para realização de um ou mais processos vitais da planta, como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA, 2006).

A forma de aplicação do N pode influenciar o seu aproveitamento pelas plantas. A aplicação de ureia a lanço sobre o solo forma comumente usada pelos produtores na região dos Cerrados, devido à maior facilidade de aplicação e ao rendimento operacional, pode resultar em grandes perdas de N, por volatilização de amônia (Cantarella, 1993)

MATÉRIAL E MÉTODOS

Consequentemente, este trabalho tem como abjetivo avaliar eficiência da combinação entre plantas fixadora de nitrogênio e ureia com diferentes doses na cultura do milho sob sistema plantio direto. O experimento foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná no campus de Dois Vizinhos, safra 24/25, Latitude: **-25.7346**, Longitude: **-53.0585** 25° 44’ 5” Sul, 53° 3’ 31” Oeste e 556m de altitude. O clima predominante na região é do tipo cfa, clima subtropical temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão

A área do experimento apresentava um histórico de longos anos de cultivo, sendo o cultivo mínimo e plantio de milho sobre milho, as dimensões da área e de 45 metros de comprimento e 41 metros de largura, divido em 3 blocos de 15 metros, cada bloco com 3 repetições, totalizando 9 repetições estabelecendo 3 tratamentos, incluindo a testemunha. Á aplicação da adubação nitrogenada de cobertura, foi realizada manualmente, nas entre linhas. Foram aplicados 180kg de ureia um bloco, não aplicamos nada em um , que no caso e a testemunha e aplicamos gesso e 180kg de ureia no outro bloco.

A colheita foi realizada manualmente e cada parcela foi debulhada separadamente e pesada, para determinar a produtividade. De cada parcela, foi medido 2 metros e coletadas as espigas nos dois lados, o espaçamento foi de 0,45. Foi feita a determinação da umidade, produtividade, corrigimos a umidade de todos para 14%. Para cada tratamento foi avaliado a produtividade do milho, tendo em vista, entende qual a eficiência das plantas fixadoras de nitrogênio e o fertilizante alanco.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Podemos observar cada tratamento e cada material e qual foi a influência de cada um em relação a produtividade do milho atraves da disponibilidade de nitrogênio. O resultado encotrado dos material e dos tratamentos foi que o (Tremoço Branco e Ervilha IPR) teve o maior desepenho em vista dos outros material no tratamento que foi feita gesso,108N, porem a ervilha ipr nos demais tratamento caiu sua influencia, a Treamoço Branco tambem terve seu redimento caindo. No segundo tratamento 0N, temos com maior rendimento em produtividade do milho o (Mix e a Ervilha Sulina) que tem uma influência parecida, uma diferença de 5 sacas/ha. Já no terceiro tratamento com 180kg ureia tivermos com o melhor desenpenho o (Tremoço Branco) influênciando a produção de 244 sacas/ha de milho.

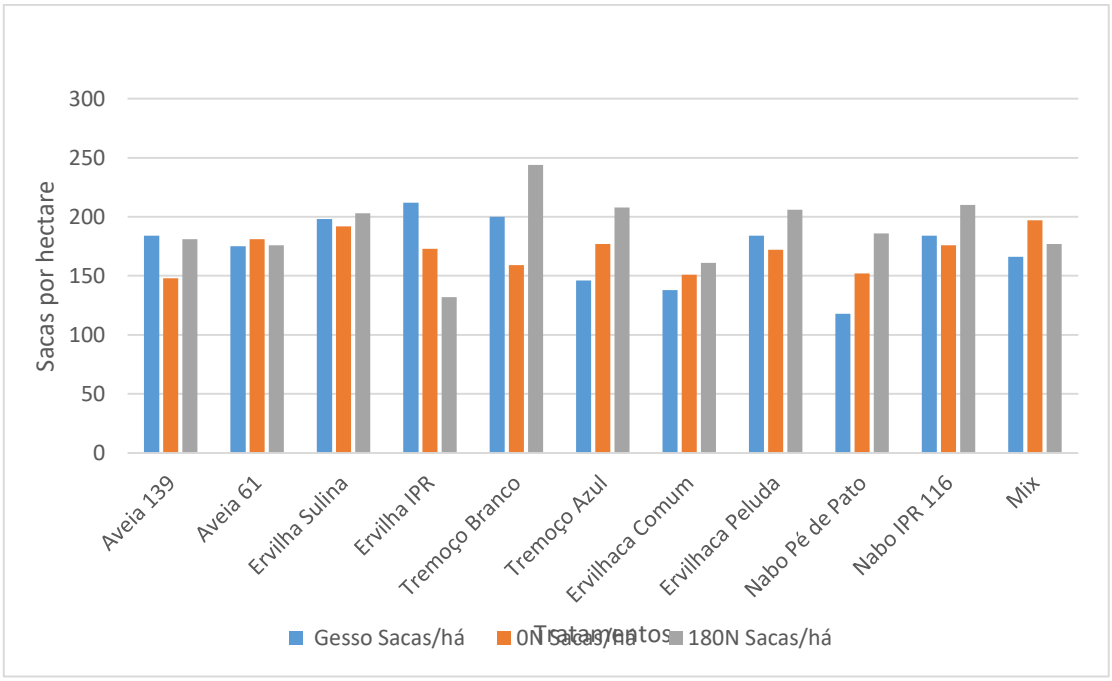


Figura 1. Produtividade de milho sob combinação de plantas de cobertura, doses de N e gesso

CONCLUSÕES

Concluímos que as medias de produtividade do milho teve uma diferença significativa, a combinação das plantas fixadoras de nitrogênio e fertilizante se mostrou eficaz, ajudando a melhoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa. observamos que Tremoço Branco teve o melhor desempenho mostrando que sua fixação de nitrogênio com a aplicação de 180kg de ureia se mostrou superior. A produção foi de 244 sacas/ha de milho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus e segundo a minha família em especial a minha mãe, que sempre está comigo me apoiando e me motivando a ir em frente, me jogando para a frente, quero agradecer também o meu ao orientador Paulo Cesar Conceição e também agradecemos pelo apoio recebido da Fundação Araucária via Termo de Convenio 282/2022 para o NAPI Sudoeste bem como pelo suporte financeiro atual da ITAIPU Parquetec ao desenvolvimento do projeto via ações de Extensão.

BIBLIOGRAFIA

ABRAMILHO. **Área para milho e soja deve crescer**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: Acesso em: 27/07/2011.

ANDREUCCI, M. P. **Perdas nitrogenadas e recuperação aparente de nitrogênio em fontes de adubação de capim elefante**. 2007. 204 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Controle de qualidade dos resultados analiticos. *In:* SILVA, F.C. da (Org.). **Manual de analises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia / Rio de Janeiro: Embrapa Solos / Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. Cap. 6, p.291-316.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES QUÍMICAS E OS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO

Lucas Hiroshi Suguiura[1*], Lucia Tiemi Naves Yamashita[2], Marcela Vágula Gomes Baffa Clavero[3], Eduardo Henrique Brosso dos Santos[4], Marcelo Augusto Batista[5]

[1]Estudante de mestrado, Universidade Estadual de Maringá; [2,3,4]Estudante de graduação, Universidade Estadual de Maringá; [5]Professor, Universidade Estadual de Maringá. *pg405893@uem.br.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi de avaliar os efeitos da calagem e adubação fosfatada sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em um LATOSSOLO VERMELHO distroférrico no sul do Brasil. O experimento utilizou delineamento em blocos completos casualizados com quatro repetições e seis tratamentos. Amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades para análises químicas e físicas. Os resultados mostraram que o pH aumentou e o Al^{3+} reduziu até 0,10 m, sem diferenças significativas entre PC e PD. Ca^{2+} e Mg^{2+} aumentaram principalmente na camada superficial (0–0,05 m). O tratamento com calcário e P aplicados em superfície sob PC apresentou maior teor de P do que com calcário e aplicação de P sob CT na superfície. Maiores densidades do solo foram observadas em tratamentos que envolviam revolvimento do solo. As propriedades físicas foram negativamente afetadas pelo PC com calcário e P.

PALAVRAS-CHAVE: correção de fósforo; acidez do solo; revolvimento do solo.

INTRODUÇÃO

A calagem é a principal prática para corrigir a acidez do solo, neutralizando Al^{3+} e aumentando a saturação por bases (V%). O calcário dolomítico é amplamente utilizado por fornecer Ca^{2+} e Mg^{2+}, melhorando as condições químicas do solo e promovendo o crescimento radicular. No entanto, a eficiência da calagem depende de fatores como dose, granulometria e modo de aplicação. Doses excessivas podem reduzir a disponibilidade de micronutrientes catiônicos e afetar a estabilidade dos agregados do solo devido à dispersão de argila, o que compromete a estrutura física e a infiltração de água.

Com a adoção do sistema de plantio direto (SPD) no Brasil a partir da década de 1980, a calagem passou a ser realizada em superfície, sem incorporação. Embora essa prática preserve a estrutura do solo e aumente o estoque de carbono orgânico (ECO), pode resultar na acumulação de nutrientes na superfície e na permanência da acidez em subsuperfície. Para minimizar esse problema, algumas práticas incluem a incorporação do calcário no solo, visando uma correção mais homogênea da acidez em profundidade.

A adubação fosfatada também influencia as propriedades físicas do solo. Em alguns casos, o acúmulo de P na superfície pode dispersar partículas de argila, impactando negativamente a estrutura e a estabilidade dos agregados. O impacto do modo de aplicação (superficial ou incorporado) dessas práticas ainda não está completamente elucidado, especialmente em solos sob plantio direto de longa duração. As hipóteses do estudo são de que: (i) Calagem e adubação fosfatada, independentemente da incorporação, influenciam positivamente as propriedades químicas e físicas do solo; (ii) Após longo tempo sob plantio direto, a incorporação de calcário e fósforo por preparo convencional do solo impacta negativamente as propriedades físicas. Os objetivos deste estudo foram os de quantificar as alterações em propriedades químicas e físicas do solo em função de diferentes estratégias de manejo de calcário e P.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da COAMO em Campo Mourão, Paraná, Brasil, em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico de textura muito argilosa. O clima local é Cfa (Köppen), com precipitação média anual de 1700 mm e temperatura média de 21°C. O experimento foi instalado em 2012

e seguiu um delineamento em blocos completos casualizados em esquema fatorial (6 x 4), com quatro repetições. Foram avaliados seis manejos de calcário e fósforo e quatro profundidades de solo. Os tratamentos incluíram a aplicação de calcário e fertilizante fosfatado com revolvimento (preparo convencional) ou superficialmente, sem revolvimento (plantio direto). Os tratamentos foram: NLNT – Sem calagem e sem revolvimento; NLCT – Sem calagem, com revolvimento; LPNT – Calagem e P em superfície, sem revolvimento; LPCT – Calagem e P com revolvimento; LNT – Apenas calagem sem revolvimento; LCT – Apenas calagem com revolvimento.

A calagem foi feita com calcário dolomítico (PRNT 70%) na dose de 5 t ha^{-1}, visando elevar a saturação por bases para 70%. O fósforo foi aplicado via superfosfato simples (678 kg ha^{-1}, 18% P_2O_5) para elevar o teor do nutriente ao nível crítico de 9 mg dm^{-3}. A incorporação nos tratamentos convencionais foi feita com arado de aiveca seguido de grade niveladora. Em 2016, a calagem foi reaplicada (PRNT 81%), mantendo a saturação por bases em 70%. O manejo das culturas seguiu a sucessão soja-trigo, sem remoção da palhada. Amostragem de solo foi feita em fevereiro de 2019, amostras foram coletadas nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. A coleta para análise química foi feita com pá de corte e trado holandês, enquanto a coleta física utilizou cilindros de aço inox (5 cm de diâmetro). Amostras físicas foram armazenadas a 4°C para minimizar a atividade biológica. As análises incluíram: Densidade do solo (Ds) – relação massa/volume; Porosidade total (Pt) – volume de água saturada no solo; Microporosidade – conteúdo de água retido a -6 kPa; Macroporosidade – diferença entre Pt e microporos. Os parâmetros químicos analisados foram: pH ($CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}), P (Mehlich-1), Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} (KCl 1 mol L^{-1}), H+Al (pH-SMP).

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). A análise de variância (ANOVA) seguiu um modelo de blocos completos casualizados, considerando tratamentos e profundidade do solo. As médias das propriedades químicas e físicas foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, independentemente da significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de calcário elevou o pH e reduziu os teores de Al^{3+}, especialmente até 0,10 m de profundidade (Tabela 1). O cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) aumentaram, sendo mais evidentes na camada de 0-0,05 m. A saturação por bases (V%) também se elevou, enquanto a saturação por alumínio (m%) diminuiu. A aplicação de fósforo elevou os teores desse nutriente até 0,10 m, sendo que a aplicação superficial sem revolvimento apresentou valores 30% superiores em relação à aplicação com revolvimento na camada de 0-0,05 m. Isso sugere que a aplicação em superfície pode ser mais eficiente na retenção de P nas camadas superficiais.

As propriedades físicas do solo foram mais afetadas na camada de 0-0,05 m, onde a aplicação conjunta de calcário e fósforo sob preparo convencional aumentou a densidade do solo e reduziu a macroporosidade em até 40% (Tabela 2). Esse efeito pode estar relacionado à dispersão de argila promovida pelo aumento do pH e do teor de fósforo, o que resultou na obstrução de poros.

Tabela 1. Atributos de acidez (pH, H+Al e Al^{3+}), cátions básicos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e saturação por bases (V %) em diferentes camadas em função de métodos de calagem com e sem adubação fosfatada em Latossolo Vermelho Distroférrico. Campo Mourão, Paraná, Brasil.

Profundidade (m)	NLNT	NLCT	LPNT	LPCT	LNT	LCT
			pH ($CaCl_2$)			
0-0,05	4.1Bb	4.3Ba	5.5Aa	5.5Aa	5.6Aa	5.3Aa
0,05 – 0,10	4.2Bb	4.3Ba	5.5Aa	5.5Aa	5.5Aa	5.2Aa
0,10 – 0,20	4.5Ba	4.4Ba	4.8Ab	5.2Ab	5.0Ab	4.9Ab
0,20 – 0,40	4.5Ba	4.5Ba	4.8Ab	5.2Ab	4.9Ab	4.8Ab
			Al^{3+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)			
0-0,05	1.78Aa	0.96Ba	0.18Ca	0.21Ca	0.18Ca	0.22Ca
0,05 – 0,10	1.44Aa	1.11Aa	0.18Ba	0.17Ba	0.17Ba	0.23Ba
0,10 – 0,20	0.57Ab	0.72Aa	0.47Aa	0.25Aa	0.29Aa	0.51Aa
0,20 – 0,40	0.63Ab	0.80Aa	0.39Ba	0.23Ba	0.28Ba	0.53Aa
			Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)			
0-0,05	0.66Ba	1.14Ba	3.86Aa	3.49Aa	3.79Aa	3.39Aa
0,05 – 0,10	0.67Ba	0.54Ba	2.80Ab	2.57Ab	2.68Ab	2.16Ab
0,10 – 0,20	0.61Ba	0.89Ba	1.26Ac	2.22Ab	1.42Ac	1.35Ac
0,20 – 0,40	0.49Ba	0.82Ba	1.24Bc	2.05Ab	1.45Ac	1.02Bc
			Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)			
0-0,05	0.11Ba	0.30Ba	2.25Aa	2.14Aa	2.25Aa	1.93Aa
0,05 – 0,10	0.10Ba	0.15Ba	1.66Ab	1.72Ab	1.83Ab	1.37Ab
0,10 – 0,20	0.27Ba	0.22Ba	0.78Ac	1.10Ac	1.05Ac	0.75Ac
0,20 – 0,40	0.30Ca	0.23Ca	0.68Bc	1.08Ac	1.03Ac	0.59Bc
			P ($mg\ dm^{-3}$)			
0-0,05	1.4Ca	1.7Ca	7.0Aa	5.4Ba	4.8Ba	4.4Ba
0,05 – 0,10	1.4Ba	1.6Ba	3.3Ab	2.6Ab	2.0Bb	1.6Bb
0,10 – 0,20	0.8Aa	0.8Aa	0.8Ac	1.0Ac	0.8Ab	0.9Ab
0,20 – 0,40	0.9Aa	0.9Aa	0.7Ac	1.0Ac	0.9Ab	0.8Ab

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas em cada linha indicam diferença entre os manejos de calcário com e sem adubação fosfatada ($p < 0.05$). Médias seguidas por letras minúsculas distintas em cada coluna indicam diferença entre as camadas de solo analisadas ($p < 0.05$). NLNT: sem calagem e sem revolvimento, NLCT: sem calagem e com revolvimento, LPNT: com calagem e aplicação de P em superfície sem revolvimento, LPCT: calagem e aplicação de P com revolvimento, LNT: calagem sem revolvimento e LCT: calagem com revolvimento.

Tabela 2. Densidade (Ds) e porosidade total (Pt) do solo em diferentes camadas em função de métodos de calagem com e sem adubação fosfatada em Latossolo Vermelho Distroférrico. Campo Mourão, Paraná, Brasil.

Profundidade (m)	NLNT	NLCT	LPNT	LPCT	LNT	LCT
			Ds (Mg m^{-3})			
0-0.05	1.02Bb	1.11Aa	1.02Bb	1.15Aa	1.04Bb	1.03Bb
0.05 – 0.10	1.19Aa	1.16Aa	1.20Aa	1.19Aa	1.06Bb	1.16Aa
0.10 – 0.20	1.18Aa	1.15Aa	1.15Aa	1.20Aa	1.13Aa	1.18Aa
0.20 – 0.40	1.14Aa	1.15Aa	1.20Aa	1.20Aa	1.16Aa	1.18Aa
			Pt (m^3 m^{-3})			
0-0.05	0.61Aa	0.58Ba	0.61Aa	0.57Ba	0.60Aa	0.62Aa
0.05 – 0.10	0.56Cb	0.57Ba	0.56Cb	0.55Ca	0.60Aa	0.56Cb
0.10 – 0.20	0.56Ab	0.56Aa	0.55Ab	0.55Aa	0.56Ab	0.55Ab
0.20 – 0.40	0.55Ab	0.57Aa	0.56Ab	0.55Aa	0.56Ab	0.56Ab

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas em cada linha indicam diferença entre os manejos de calcário com e sem adubação fosfatada ($p < 0.05$). Médias seguidas por letras minúsculas distintas em cada coluna indicam diferença entre as camadas de solo analisadas ($p < 0.05$). NLNT: sem calagem e sem revolvimento, NLCT: sem calagem e com revolvimento, LPNT: com calagem e aplicação de P em superfície sem revolvimento, LPCT: calagem e aplicação de P com revolvimento, LNT: calagem sem revolvimento e LCT: calagem com revolvimento.

CONCLUSÕES

Os efeitos de correção da acidez, aumento de Ca^{2+}, Mg^{2+}, V % e redução de *m* % sob o manejo sem revolvimento foram mais evidentes até 0,10 m, sendo a alta capacidade tampão de acidez responsável por esse efeito limitado à superfície do solo. A aplicação de P aumentou os teores deste nutriente até 0,10 m, sendo que na camada de 0-0,05 m, os teores de P foram 30% maiores com calagem e aplicação de P em superfície sem revolvimento (7,0 mg dm^{-3}) em relação à aplicação de P em superfície após calagem com revolvimento (5,4 mg dm^{-3}).

As propriedades físicas do solo foram afetadas negativamente principalmente na camada de 0-0,05 m, em que a aplicação de calcário simultânea a adubação fosfatada com revolvimento promoveu aumento da densidade e redução da porosidade total do solo, sendo que a redução da macroporosidade foi de 40 % em relação ao demais tratamentos. Atribui-se esse comportamento à dispersão de argila promovida pela calagem em conjunto com a adubação fosfatada, efeito intensificado pelo revolvimento do solo que permitiu a obstrução de poros.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores gostariam de agradecer à “COAMO AGROINDUSTRIAL COOPERATIVA” pela disponibilidade da área experimental e pelo apoio logístico (equipamentos e maquinários, manejo das culturas, e equipe técnica e de campo).

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CALCÁRIO ASSOCIADO AO GESSO EM PLANTIO DIRETO AUMENTA A PRODUTIVIDADE NA ROTAÇÃO MILHO, TRIGO E SOJA

Marcela Vágula Gomes Baffa Clavero[1*], Fernando Marcos Brignoli[2], Lucas Hiroshi Suguiura[3], Lúcia Tiemi Naves Yamashita[1], Marcelo Augusto Batista[4]

[1] Estudante de agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM). *marcelavagulabaffa@gmail.com.br; [2] Doutorando em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM); [3] Mestrando em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM); [4]Professor da Universidade Estadual de Maringá (UEM)

RESUMO

A incorporação de calcário no solo pode acelerar a correção, mas impacta estrutura do solo. O objetivo do trabalho foi verificar as alterações químicas do solo e a produtividade ao longo de cinco safras em função do manejo de calcário e gesso. O experimento foi conduzido em Campo Mourão-PR. Foram testados diversos tratamentos correspondentes ao manejo de calcário em superfície e incorporado para atingir as saturações por base de 70 e 90%, além da dose recomendada de gesso e seu dobro. As aplicações ocorreram em 2012 com reaplicação em 2016. Após 77 meses da reaplicação, as doses mais altas de calcário aumentaram o pH até 0,40 m. O gesso elevou S-SO_4^{2-} abaixo de 0,20 m. A maior produtividade acumulada foi verificada com a utilização do gesso, sendo atribuída à maior disponibilidade de S-SO_4^{2-}.

PALAVRAS-CHAVE: acidez do solo; enxofre; plantio convencional.

INTRODUÇÃO

Em áreas sob plantio direto, o calcário é aplicado sob a superfície do solo sem incorporação, reduzindo a acidez do solo, principalmente em superfície (0-0,20 m). Contudo, devido à baixa solubilidade e mobilidade limitada do calcário, as regiões de subsuperfície podem permanecer ácidas (Minato *et al*. 2023).

A aplicação de calcário seguida de incorporação pode melhorar a sua distribuição no solo (Brignoli *et al*., 2024), mas resulta na degradação física e na redução da matéria orgânica do solo. Diante disso, o gesso agrícola ($CaSO_4$ $2H_2O$) é uma alternativa para diminuir o efeito tóxico do alumínio (Al^{3+}) em subsuperfície sem a necessidade de incorporação. A hipótese do estudo é de que a aplicação superficial de calcário para elevar a saturação por bases a 70 %, combinada com gesso agrícola, maximiza a produtividade das. O estudo teve como objetivo verificar as alterações químicas do solo promovida pelo manejo de calcário e gesso em um Latossolo Vermelho com baixa acidez em área de plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Cooperativa Agroindustrial Mourãoense - COAMO, situada em Campo Mourão, Paraná (24°05’28” S, 52°1’32” W). O solo (74 % de argila) da área é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico.

O experimento foi instalado em 2012 em delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos corresponderam aos manejos de calcário e gesso aplicados em 2012, conforme a seguinte descrição: sem calagem sem revolvimento (CON-PD), sem calagem com revolvimento (CON-PC), calagem para elevar a V % a 70 sem e com revolvimento (V70-S e V70-I), calagem para elevar a V% a 90 sem e com revolvimento (V90-S e V90-I), calagem em superfície para elevar a V a 70% + gesso (G1) (dose recomendada) e calagem em superfície elevar a V% a 70 + gesso (G2) (dobro da dose recomendada). As doses de calcário foram obtidas a partir do método de saturação por bases (SBCS/NEPAR, 2019).

O calcário foi incorporado a 0,20 m com arado de aiveca. Em junho de 2016, reaplicou-se calcário dolomítico (PRNT 80 %). As doses de gesso (kg ha^{-1}) foram calculadas com base no teor de argila multiplicado

pelo fator "50" e aplicadas junto com o calcário nos tratamentos combinados. Os cultivos corresponderam às safras de milho (2020/21), trigo (2021), soja (2021/22), trigo (2022) e soja (2022/23).

As amostras de solo foram coletadas em novembro de 2022 (77 meses após a reaplicação) nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10- 0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Foram realizadas as análises de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, pH ($CaCl_2$), H+Al e S-SO_4^{2-}. Os dados apresentados nesse resumo correspondem ao pH, m %, V %, e os teores de S-SO_4^{2-} e MOS. As médias foram analisadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Doses mais altas de calcário aumentaram o pH até 0,40 m (Figura 1) devido à maior frente de alcalinização (Minato *et al*., 2023). O uso de calcário também influenciou a m% até 0,60 m. O tratamento V70-S não aumentou a V% em profundidade, ao contrário do V70-I e das doses mais altas de calcário. Segundo Besen *et al*. (2021), doses elevadas favorecem a dissolução em profundidade, enquanto a incorporação melhora a distribuição do corretivo. O gesso agrícola aumentou S-SO_4^{2-} abaixo de 0,20 m, resultado do suprimento desse nutriente (Ernani, 2016).

A não aplicação de calcário e a incorporação para V% de 70 reduziram a produtividade do trigo. Na soja (2021/22), V70-S teve a maior produtividade, sem diferença para V90-S e tratamentos com gesso. Não houve efeito no milho (2020/21) e soja (2022/23). A maior produtividade acumulada ocorreu com gesso, mas sem vantagem em aumentar a dose ou incorporar calcário.

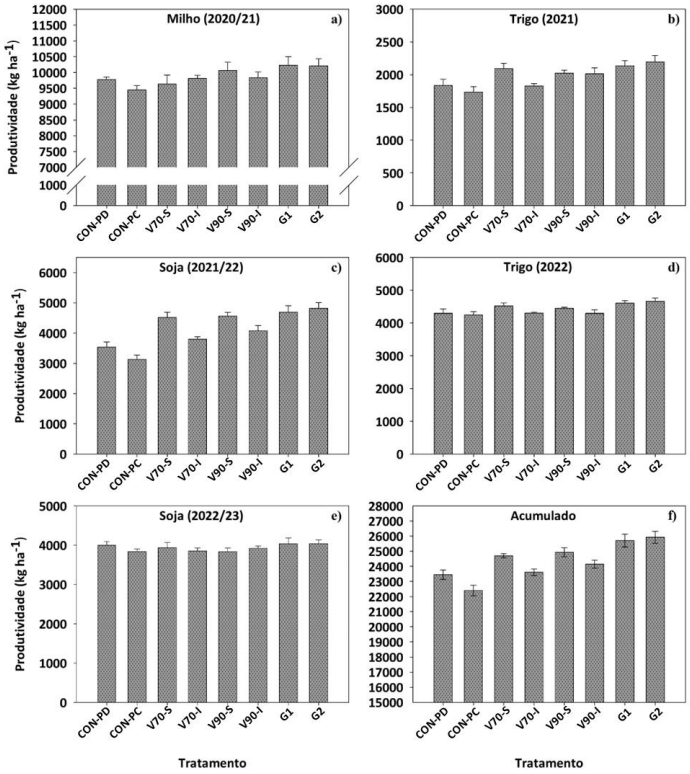


Figura 1. Produtividade de culturas de grãos em função do manejo de calcário e gesso agrícola em plantio direto e preparo convencional. Médias seguidas por letras distintas em cada linha indicam diferença significativa entre os manejos de calcário e gesso pelo teste de Scott-Knott ($p < 0.05$). CON-PD: controle sem calcário e sem revolvimento; CON-PC: controle sem calcário com revolvimento; V70-S e V70-I: calagem superficial e incorporada para V % de 70, respectivamente; V90-S V90-I: calagem superficial e incorporada para V % de 90, respectivamente; G1: calagem para V % de 70 + gesso na dose recomendada; G2: calagem para V % de 70 + dobro da dose de gesso recomendada.

Tabela 1. pH, saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%) e enxofre ($S\text{-}SO_4^{2-}$) em função do manejo de calcário e gesso em um Latossolo Vermelho. Campo Mourão, Paraná.

Profundidade (m)	CON-PD	CON-PC	V70-S	V70-I	V90-S	V90-I	G1	G2
				pH ($CaCl_2$)				
0-0,05	4,7b	4,4b	5,2a	4,4b	5,5a	4,8b	5,2a	5,4a
0,05-0,10	4,6b	4,3b	5,1a	4,5b	5,5a	5,1a	5,2a	5,0a
0,10-0,20	4,7b	4,4b	4,6b	4,6b	5,2a	5,1a	4,8a	4,5b
0,20-0,40	4,4b	4,5b	4,7b	4,7b	4,9a	5,1a	4,7b	4,6b
0,40-0,60	4,7a	4,7a	4,9a	4,9a	5,0a	5,0a	4,9a	4,8a
Profundidade (m)	**CON-PD**	**CON-PC**	**V70-S**	**V70-I**	**V90-S**	**V90-I**	**G1**	**G2**
				m (%)				
0-0,05	8,5 b	14,0 a	0,4 c	7,0 b	0,5 c	1,5 c	0,4 c	0,5 c
0,05-0,10	17,6 b	26,5 a	1,2 c	9,0 c	0,9 c	2,0 c	0,7 c	2,0 c
0,10-0,20	19,0 a	19,1 a	11,1 a	5,0 b	2,3 b	2,2 b	5,6 b	14,5 a
0,20-0,40	13,6 a	14,7 a	7,8 a	5,6 a	4,7 a	2,3 a	7,1 a	8,8 a
0,40-0,60	4,5 b	9,5 a	2,6 b	3,0 b	1,9 b	2,2 b	3,6 b	4,1 b
Profundidade (m)	**CON-PD**	**CON-PC**	**V70-S**	**V70-I**	**V90-S**	**V90-I**	**G1**	**G2**
				V (%)				
0-0,05	44 c	36 d	69 a	44 c	75 a	57 b	66 a	71 a
0,05-0,10	34 b	27 b	55 a	40 b	64 a	57 a	59 a	51 a
0,10-0,20	32 b	31 b	37 b	42 b	50 a	55 a	42 b	35 b
0,20-0,40	35 b	33 b	37 b	41 a	43 a	50 a	37 b	38 b
0,40-0,60	39 a	35 a	40 a	42 a	48 a	47 a	39 a	41 a
Profundidade (m)	**CON-PD**	**CON-PC**	**V70-S**	**V70-I**	**V90-S**	**V90-I**	**G1**	**G2**
				$S\text{-}SO_4^{2-}$ (mg dm^{-3})				
0-0,05	5,6 a	4,0 a	3,5 a	4,4 a	4,5 a	4,4 a	4,8 a	4,7 a
0,05-0,10	4,9 a	4,3 a	2,6 a	7,7 a	3,6 a	3,5 a	3,3 a	4,8 a
0,10-0,20	4,6 a	5,0 a	5,4 a	6,3 a	4,5 a	3,3 a	3,8 a	7,6 a
0,20-0,40	6,6 b	6,1 b	8,9 a	5,1 b	4,6 b	5,0 b	9,3 a	12,3 a
0,40-0,60	7,8 b	8,3 b	14,4 a	5,7 b	7,8 b	7,7 b	13,9 a	17,6 a

Médias seguidas por letras distintas em cada linha indicam diferença significativa entre os manejos de calcário e gesso pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CON-PD: controle sem calcário e sem revolvimento; CON-PC: controle sem calcário com revolvimento; V70-S e V70-I: calagem superficial e incorporada para V % de 70, respectivamente; V90-S V90-I: calagem superficial e incorporada para V % de 90, respectivamente; G1: calagem para V % de 70 + gesso na dose recomendada; G2: calagem para V % de 70 + dobro da dose de gesso recomendada.

CONCLUSÕES

Não houve vantagens técnicas em aumentar V para 90%. A incorporação de calcário para V de 70 % melhorou o V % em subsuperfície. Considerando o somatório de 5 safras, o uso de gesso a partir da dose recomendada refletiu em incrementos de produtividade, relacionado ao maior fornecimento de $S\text{-}SO_4^{2-}$ no solo. O estudo apresenta que não há vantagens técnicas em incorporar o calcário.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à COAMO pela disponibilidade da área experimental e apoio logístico.

BIBLIOGRAFIA

MINATO, E. A., BRIGNOLI, F. M., NETO, M. E., BESEN, M. R., CASSIM, B. M. A. R., LIMA, R. S. & BATISTA, M. A. (2023). Lime and gypsum application to low-acidity soils: Changes in soil chemical properties, residual lime content and crop agronomic performance. **Soil and Tillage Research**, 234, 105860.

BRIGNOLI, F. M., GERALDINI, A. P. B., TORMENA, C. A., ARAÚJO, M. A., & BATISTA, M. A. (2024). Liming and phosphate fertilization influence soil fertility, physical properties, and carbon stock in a subtropical Ferralsol in Brazil. **Soil and Tillage Research**, 244, 106268.

SBCS/NEPAR. 2019 **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2 ed. ed. Curitiba.

BESEN, M. R., CONEGLIAN, C. F., CASSIM, B. M. A. R., KACHINSKI, W. D., INOUE, T. T., & BATISTA, M. A. (2021). Forms of lime application and use of phosphogypsum in low acid soil in southern Brazil: soybean-wheat yield and soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, e0210001.

ERNANI, P.R., 2016. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**, p. 256.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CALCÁRIO DE CONCHAS MARINHAS NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Guilherme Felipe Costa Ferreira[1], Luiz Henrique Campos de Almeida[2], Gabriela Machineki Silva[3], João Tavares Filho [4], Rayla Menezes D'Epiro [5 *].
[1]Estudante de graduação UEL; [2]Professor UEL; [3]Professora UEL; [4]Professor UEL; [5]Estudante de mestrado UEL. E-mail: rayla.mdepiro8@gmail.com

RESUMO

A soja ("Glycine max") é uma cultura de grande relevância econômica e nutricional, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais. A acidez do solo pode comprometer sua produtividade devido à toxidez do alumínio e à deficiência de cálcio e magnésio. O uso de corretivos, como o calcário de conchas marinhas, tem sido uma alternativa para melhorar as condições químicas do solo e aumentar o rendimento da cultura. O presente estudo objetivou avaliar o efeito da aplicação de diferentes formulações de calcário de conchas marinhas na produtividade da soja. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, em um Latossolo Vermelho Eutroférrico, sob delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos e oito repetições. Os resultados indicaram que não houve diferenças significativas na produtividade entre os tratamentos, sugerindo que o efeito do corretivo pode ser mais evidente a longo prazo. Estudos futuros são recomendados para avaliar a persistência dos efeitos ao longo dos ciclos produtivos.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*; correção do solo; fertilidade; produtividade

INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max L.*) desempenha um papel essencial na economia global, sendo uma das principais fontes de proteína vegetal para alimentação humana e animal. O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais, com uma produção estimada em mais de 147 milhões de toneladas de grãos, representando cerca de 37% da produção global (EMBRAPA, 2023). A crescente demanda por soja impulsiona a busca por práticas de manejo que aumentem a produtividade e otimizem o uso dos recursos naturais.

A acidez do solo é um dos principais fatores que limitam a produtividade agrícola. Solos ácidos apresentam altas concentrações de íons de alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^{+}), que reduzem a disponibilidade de nutrientes essenciais, como cálcio (Ca) e magnésio (Mg), afetando negativamente o desenvolvimento das plantas (RAIJ *et al*., 1997). A calagem é uma prática amplamente utilizada para corrigir a acidez do solo e fornecer Ca e Mg, elementos fundamentais para a nutrição da soja.

O calcário de conchas marinhas surge como uma alternativa promissora aos corretivos convencionais, pois apresenta alta solubilidade e reação imediata no solo. Composto essencialmente por carbonato de cálcio ($CaCO_3$), esse insumo pode proporcionar melhorias significativas na fertilidade do solo e no desempenho da cultura (PARIZOTTO *et al*., 2018). Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes formulações de calcário de conchas marinhas no desenvolvimento e produtividade da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada nas coordenadas 23°20'23.3"S e 51°12'36.0"W. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico, com textura argilosa e histórico de cultivo sob sistema de plantio direto por 10 anos. O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com precipitação anual média de 1.532 mm e temperatura média anual de 21,5 °C.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram compostos por diferentes formulações de calcário de conchas, na qual, foram avaliados o calcário de concha em pó (96% de CaCO3), calcário de concha granulado (35% de Ca),

calcário de concha mais enxofre (25% de Ca e 6% de S), calcário de concha mais enxofre mais boro (25% de Ca, 6% de S e 0,2% de B) e o controle (sem calcário de concha). Aplicados quando a cultura apresentou dois pares de folhas trifolioladas (V3) em cobertura, na dose recomendada pelo fabricante (200 kg/ha). O experimento foi constituído por cinco tratamentos, sendo eles: tratamento com calcário de concha em pó (T1); tratamento com calcário de concha granulado (T2); tratamento com calcário de concha mais enxofre (T3); tratamento com calcário de concha mais enxofre mais boro (T4); tratamento controle (T5).

A semeadura foi realizada no dia 12 de outubro de 2023, utilizando a cultivar de soja com tecnologia "INTACTA RR2 PRO" e densidade de 270 mil plantas por hectare. A adubação de base consistiu na aplicação de 150 kg ha^{-1} da formulação 0-20-20 (N-P-K). O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação de 0,5 L ha^{-1} de glifosato e capinas manuais. O controle de doenças incluiu a aplicação de fungicida contendo bixafem, protioconazol e trifloxistrobina.

As avaliações incluíram altura de plantas, número de vagens por planta, número de hastes, diâmetro do caule e produtividade. A colheita foi realizada na maturação fisiológica, coletando-se 2 metros lineares centrais de cada parcela para análise. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 10% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para a produtividade da soja (Tabela 1). No entanto, observou-se uma tendência de aumento nos tratamentos que receberam calcário de concha enriquecido com enxofre e boro.

Tabela 1. Comparação das médias pelo teste de Duncan a 10% de significância entre os tratamentos em relação a produtividade.

Produtividade		
Tratamento	**Média**	**Grupos**
T1	1584,10	a
T2	1370,70	a
T3	1323,95	a
T4	1246,60	a
Controle	1170,15	a

A ausência de diferenças significativas pode estar relacionada à boa fertilidade inicial do solo, que pode ter mascarado os efeitos da calagem no curto prazo. Estudos indicam que a resposta da soja à calagem é mais evidente em solos com alta acidez (SANTOS *et al.*, 2020). Além disso, o efeito do calcário de concha pode se manifestar de forma mais pronunciada em ciclos agrícolas subsequentes, devido à sua liberação gradual de nutrientes.

CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo indicam que a aplicação de calcário de conchas marinhas não impactou significativamente a produtividade da soja no curto prazo. No entanto, observou-se uma tendência de aumento na produção nos tratamentos que receberam formulações enriquecidas com enxofre e boro.

Estudos de longo prazo são necessários para avaliar os efeitos persistentes do corretivo e sua influência na fertilidade do solo e na produtividade da cultura.

AGRADECIMENTOS

UEL – Universidade Estadual de Londrina

BIBLIOGRAFIA

ANDRIOLO, J. L. *et al*. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. **Ciência Rural**, 40, 237-242, 2010.

BEN, J. R.; WIETHÖLTER, S.; PERUZZO, G. **Avaliação de calcário de concha marinha aplicado na linha de semeadura**. 1999.

CARMELLO, Q. A. C.; DE OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. **Visão agrícola**, v. 3, n. 5, p. 8-11, 2006.

EMBRAPA. **Características de corretivos agrícolas**, 2004. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61985/1/Doc37ACP2004.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

EMBRAPA. **Mercado, 2021**. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/socioeconomia/mercado. Acesso em: 20 ago. 2024.

HUNGRIA, M. *et al*. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. *In:* **Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment**. Dordrecht: Springer, p. 25-42, 2006.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, 1980.

PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C. M.; DA VEIGA, M. Calcário de conchas, calcário calcítico e gesso na linha de semeadura e seu efeito sobre o rendimento de grãos das culturas. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 9, n. 2, p. 115-120, 2018.

RAIJ, B. V. *et al*. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Instituto Agronômico de Campinas, 1997.

SANTOS, F. J. *et al*. Resposta da soja à aplicação de calcário em solos de alta acidez: Avaliação em longo prazo. **Cadernos de Agronomia**, v. 45, n. 2, p. 75-88, 2020.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO USO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NO BRASIL

Marcela Vágula Gomes Baffa Clavero[1*], Fernando Marcos Brignoli[2], Lucas Hiroshi Suguiura[3], Lúcia Tiemi Naves Yamashita[1], Marcelo Augusto Batista[4]

[1] Estudante de agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM). [*]marcelavagulabaffa@gmail.com.br; [2] Doutorando em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM); [3] Mestrando em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM); [4]Professor da Universidade Estadual de Maringá (UEM)

RESUMO

Para a utilização de calcário e gesso agrícola levantamentos bibliométricos auxiliam na recomendação técnica, porém levantamentos publicados geralmente apresentam outro foco, resultando em poucos estudos para a condução de experimentos voltado para este propósito. O objetivo do estudo foi avaliar as principais tendências bibliométricas e suas principais revistas e autores com a utilização do pacote Bibliometrix em R. Foi observado que dentre os 46 periódicos analisados A Revista Brasileira de Ciência do Solo e Soil and Tillage Research apresentaram 17,2 e 10,7% do total publicado em 1992-2004, sendo Caires EF e Crusciol CAC os principais autores em relação ao total estudado. O estudo mostra a relevância do termo "compaction" e constata que o estado do Paraná é líder em produção científica sobre o uso de calcário e gesso agrícola no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Bibliometrix; calagem; Paraná; compactação.

INTRODUÇÃO

Há poucos levantamentos bibliométricos sobre o uso de calcário e gesso agrícola no Brasil. Esses estudos podem auxiliar na condução de experimentos para refinar as recomendações técnicas de calcário e gesso agrícola (Enesi *et al*., 2023). A maioria nos estudos de revisão bibliométrica focam em impactos ambientais, como a dinâmica de gases de efeito estufa e metais tóxicos para as plantas (Zhang *et al*., 2022).

As revisões bibliométricas são fundamentais na análise quantitativa de dados. Diante dessa lacuna, visto a necessidade de busca sobre informações do manejo da acidez em solos brasileiros, este estudo realizou um levantamento bibliométrico sobre calcário e gesso agrícola, identificando tendências de pesquisas e direções para futuras pesquisas nessa área.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa iniciou em 30 de julho de 2024 com o levantamento de artigos na base Scopus. A busca considerou títulos, resumos e palavras-chave, utilizando termos relacionados a calagem, gessagem, plantio direto e Brasil, resultando em 217 documentos de 1992 até 2024.

Após a aplicação de filtros para excluir outros tipos de publicações e delimitar a pesquisa às áreas de agricultura e biologia, restaram 191 artigos. Foi realizada uma consulta individual em cada artigo, descartando estudos focados em pastagem, cana-de-açúcar e fruticultura. Essa etapa resultou em 168 artigos. Posteriormente, os documentos foram exportados nos formatos BibTeX e CSV.

Os dados foram analisados com o pacote Bibliometrix em R (Aria e Cuccurullo, 2017), permitindo visualizar as tendências bibliométricas e as principais revistas científicas e autores. Também foram identificados os estados brasileiros contemplados, classes de solo e as principais culturas de grãos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total de 46 periódicos, os 10 principais representaram 59,5% das publicações. A Revista Brasileira de Ciência do Solo e Soil and Tillage Research apresentaram 17,2 e 10,7% do total publicado (Figura 1). Caires EF e Crusciol CAC foram os principais autores em relação ao total de 487 (Figura 2).

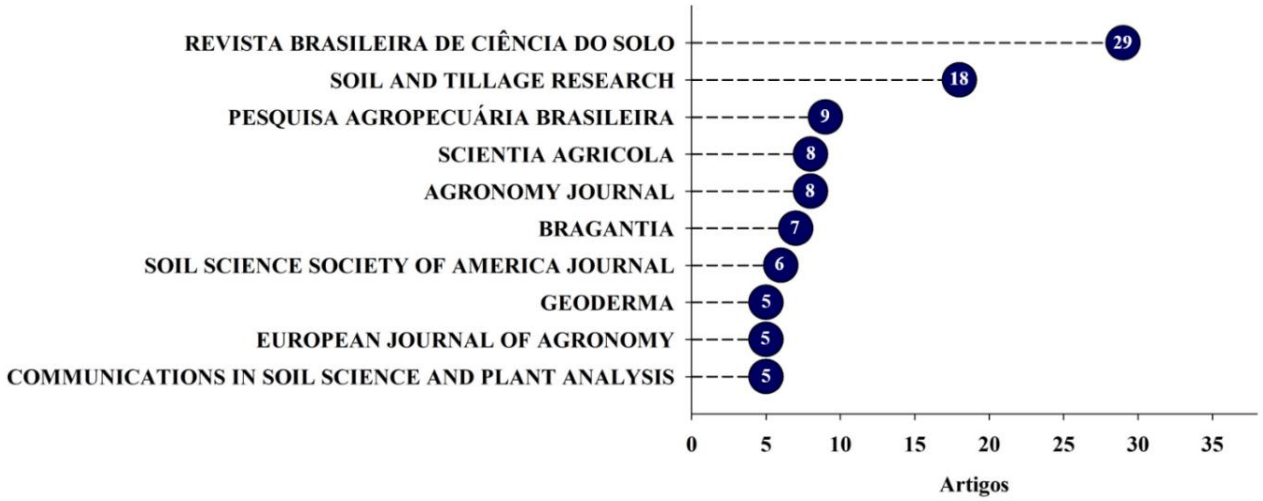


Figura 1. Dez principais periódicos por número de publicação entre 1992 e 2024.

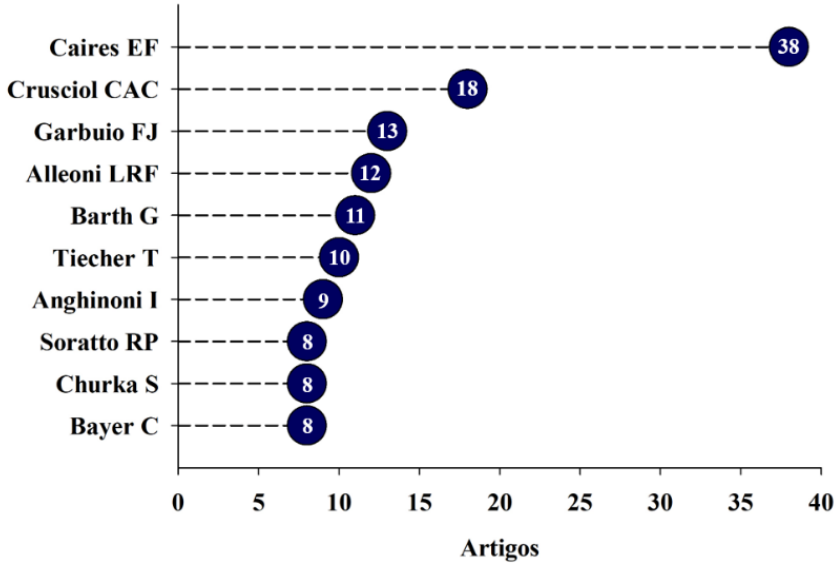


Figura 2. Dez principais autores ordenados por número de artigos publicados entre 1992 e 2024.

Em relação aos principais autores, os vínculos institucionais destes foram atribuídos à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), no estado do Paraná, à Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Universidade de São Paulo (USP), além da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Dessa forma percebeu-se que essas instituições foram distribuídas entre os três estados brasileiros com maior volume de publicação (Figura 3).

O termo “compaction” foi o mais recente dos tópicos em destaque, aparecendo 5 vezes de 2019 a 2024 (Tabela 1). O termo “lime” foi apresentado 48 vezes de 2012 a 2022. Em relação aos termos sobre

limitações químicas do solo, “acid soil” e “aluminum” apareceram em anos seguindo (2015 e 2016), com posterior ocorrência dos termos “gypsum”, “limestone” e “lime” em 2017 e 2018.

A ocorrência do termo “compaction” e “no-tillage” nos estudos mais atuais tem relação com os efeitos que o incremento de carbono orgânico no solo ocasiona na diminuição da densidade do solo em sistemas conservacionistas (Silva *et al*., 2023).

As culturas mais avaliadas foram soja e milho, as quais são as principais commodities agrícolas no sistema de produção de grãos do Brasil (CONAB, 2024).

Tabela 1. Tópicos em tendência (2014-2022) nos artigos selecionados.

Termo	Frequência	Ano (Q1)	Ano (Mediana)	Ano (Q3)
compaction	5	2019	2022	2024
no-tillage	8	2016	2020	2022
no-tillage systems	8	2018	2020	2023
crop yield	31	2014	2019	2022
magnesium	11	2010	2019	2022
lime	48	2012	2018	2022
limestone	10	2015	2018	2024
gypsum	21	2014	2017	2021
aluminum	26	2009	2016	2021
acid soil	15	2010	2015	2018
soybean	21	2008	2014	2021

Ano (Q1) e Ano (Q3) representam o primeiro e terceiro quartil dos dados.

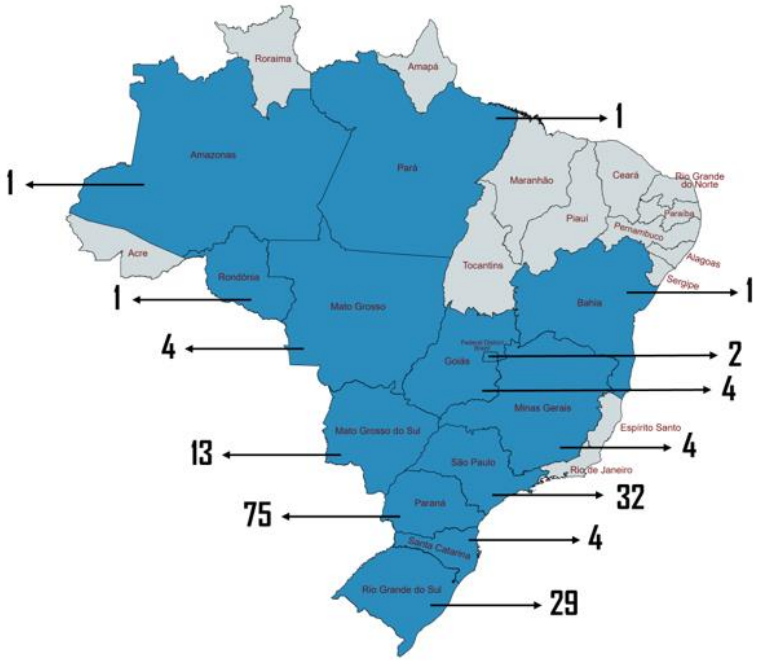


Figura 3. Quantidade de artigos publicados em cada estado do Brasil.

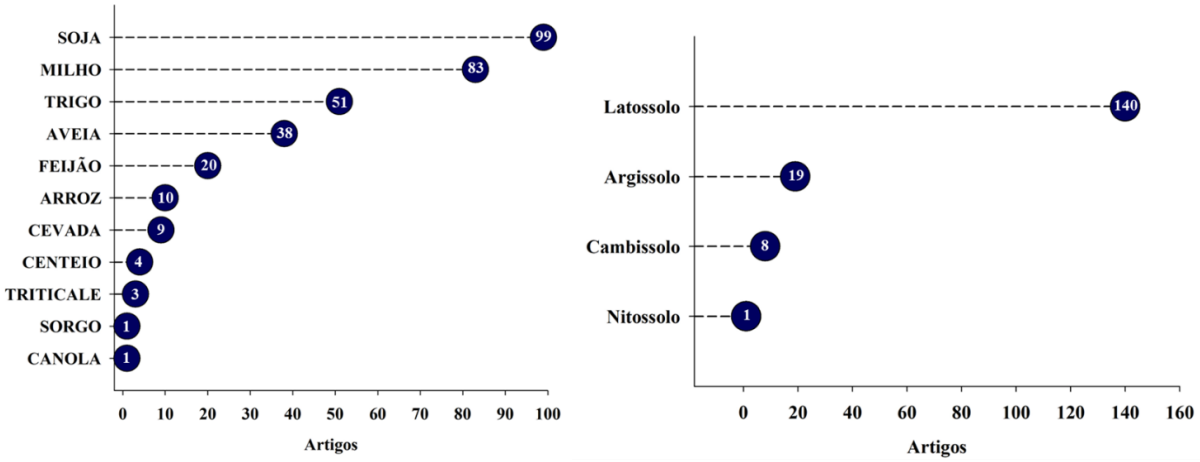


Figura 4. Ocorrência das principais culturas e classes de solo.

CONCLUSÕES

Esse estudo permitiu a identificação de lacunas importantes, como a relevância do termo "compaction" que nos últimos anos reflete uma tendência em estudos voltados para a o manejo de solos compactados. As culturas da soja e milho são as mais estudas, bem como o Latossolo é a principal classe presente. Além disso, foi constatado que o estado do Paraná é líder em produção científica sobre o uso de calcário e gesso agrícola no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Estudos em Solos da Universidade Estadual de Maringá (GESSO/UEM).

BIBLIOGRAFIA

ENESI, R.O., DYCK, M., CHANG, S., THILAKARATHNA, M.S., FAN, X., STRELKOV, S., GORIM, L.Y., 2023. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability - a meta-analysis. **Front. Agron.** 5.

ZHANG, H.-M., LIANG, Z., LI, Y., CHEN, Z.-X., ZHANG, J.-B., CAI, Z.-C., ELSGAARD, L., CHENG, Y., JAN VAN GROENIGEN, K., ABALOS, D., 2022. Liming modifies greenhouse gas fluxes from soils: A meta-analysis of biological drivers. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 340, 108182.

ARIA, M., CUCCURULLO, C., 2017. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics** 11, 959–975.

SILVA, S.R., DOS SANTOS, H.P., LOLLATO, R.P., SANTI, A., FONTANELI, R.S., 2023. Soybean Yield and Soil Physical Properties as Affected by Long-Term Tillage Systems and Liming in Southern Brazil. **International Journal of Plant Production**.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), 2024. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2023/24.**

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO COMBINADO COM USO DE GESSO AGRÍCOLA

João Gabriel Ferreira[1*], Lucas Gabriel Fiabane[1], Daniel Fernando Bariviera[1], Laércio Ricardo Sartor[2]
[1] Estudante de Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). [2] Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) E-mail: joaoferreira.2003@alunos.utfpr.edu.br

RESUMO

Este estudo avaliou o efeito do gesso agrícola e corretivos de acidez (calcário dolomítico, FortCálcio e óxido de cálcio) no solo e na produção de centeio em plantio direto na UTFPR, Dois Vizinhos-PR. O experimento, com delineamento de blocos ao acaso com 3 repetições em esquema bifatorial, usou diferentes produtos e doses, incluindo Fortcalcio® 500 kg ha^{-1}, Calcário Dolomítico 3 t ha^{-1}, Óxido de cálcio 500 kg ha^{-1} e gesso agrícola 3 t ha^{-1}, as aplicações realizadas em 2022, após foi aplicado todo ano Fortcalcio e Óxido de Cálcio, as coletas realizadas nas profundidades: 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm e 20 – 40 cm. O calcário dolomítico elevou Ca^{2+}, Mg^{2+} e pH nas camadas superficiais, enquanto o gesso aumentou Ca^{2+} e pH em profundidade, neutralizando o Al^{3+}. A produção de centeio foi maior com calcário dolomítico ou óxido de cálcio e gesso.
PALAVRAS-CHAVE: corretivos; gesso; fertilidade; produtividade.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que a acidez do solo, é um fator que limita a produção de diversas culturas em amplo espectro pelo mundo (Nolla, 2004). Na agricultura de grãos, maximizar o rendimento por área e a lucratividade é uma busca constante. Para alcançar esses objetivos, é crucial investir em insumos que promovam a fertilidade do solo. Isso inclui a utilização de adubos em várias formulações e materiais que ajudem a equilibrar o pH do solo, disponibilizando os nutrientes para as plantas. Um método para disponibilizar esses nutrientes essenciais é realizar a calagem do solo como forma de correção da acidez, utilizando calcário e juntamente com o gesso agrícola para reduzir a toxicidade do alumínio e aumentar os níveis de cálcio em profundidade (RAIJ, 2013). Essas práticas visam melhorar a qualidade do solo, proporcionando um ambiente benéfico para o crescimento e desenvolvimento das plantas e, consequentemente, aumentando a produtividade agrícola.

Estudos mostram que a combinação de gesso agrícola com corretivos da acidez beneficiam culturas e melhorar atributos químicos do solo. No entanto, ainda são necessárias pesquisas para entender melhor os impactos dessa prática em diferentes sistemas agrícolas. O presente estudo avalia os efeitos da aplicação de gesso agrícola combinada com fontes de corretivos de acidez, observando a produtividade de biomassa de centeio e a movimentação de nutrientes na profundidade de 0-40 cm.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no seu terceiro ano, situado no campo experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos, localizada na região Sudoeste do Paraná, com latitude 25°42’S, longitude 53°08’W, e altitude média de 561m, tem como clima subtropical úmido, com precipitação que varia de 1900 a 2200 mm ano-1, com temperatura média entre 18° a 20°C (ALVARES *et al*., 2013). O solo da área experimental é caracterizado como Latossolo Vermelho distroférrico (BHERING *et al*., 2009).

O experimento foi realizado em blocos ao acaso, contendo três repetições e oito tratamentos dispostos em um esquema bifatorial. O primeiro fator, envolveu os tipos de corretivos para a acidez do solo, enquanto o segundo fator, a utilização ou não de gesso agrícola. Os corretivos testados incluíram Fortcalcio®, calcário dolomítico e óxido de cálcio, aplicados isoladamente ou em combinação com gesso, além de testemunhas, tanto com quanto sem a aplicação de gesso.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

As doses, aplicadas á lanço em superfície, foram: Fortcalcio® 500 kg ha^{-1}, Calcário Dolomítico 3 t ha^{-1}, Óxido de cálcio 500 kg ha^{-1}, e um tratamento sem calcário. Em parcelas subdivididas fez o uso de gesso agrícola na dose 3 t ha^{-1} . O gesso foi aplicado no ano de 2022. Calcário Dolomítico aplicado em 2022. Fortcalcio® e Oxido de Cálcio é aplicado todo ano, a partir de 2022, esses com duas aplicações até a avaliação feita para esse trabalho.

Após primeira aplicação, em 2022, fez-se o cultivo do trigo, seguido da soja, aveia, milho, centeio e soja. Para esse trabalho considera-se a coleta de solo feita em 2024 antes do cultivo do centeio e a produção de matéria seca do centeio.

Em maio de 2024, antes da semeadura do centeio, foram coletadas amostras de solo em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm). As análises realizadas em laboratório se concentraram na avaliação do pH, além dos íons Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} e na saturação por bases.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F, 5% de probabilidade), com comparações entre médias pelo teste de Tukey (5%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo investigou os efeitos de diferentes corretivos de acidez (calcário dolomítico, FortCálcio e óxido de cálcio) e gesso agrícola nos atributos químicos do solo e na produção de matéria seca de centeio. Os resultados revelaram que o calcário dolomítico se destacou na elevação dos teores de Ca^{2+}, Mg^{2+} e pH nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm), corroborando com estudos que demonstram a eficácia do calcário dolomítico na correção da acidez e fornecimento de cálcio e magnésio (Zambiasi Júnior, 2016).

A aplicação de gesso agrícola promoveu o aumento dos teores de Ca^{2+} em todas as profundidades, demonstrando sua ação condicionante e a capacidade de lixiviação do cálcio para as camadas subsuperficiais. Este resultado está relacionado à formação de pares iônicos neutros de $CaSO_4º$, que facilitam a mobilidade do cálcio em profundidade (Caires *et al*., 2003; Rampim *et al*., 2011; Serafim *et al*., 2012; Cremon *et al*., 2009).

Tabela 1 – Teores de Ca^{+2} (cmolc dm^{-3}) no solo sob uso de corretivos da acidez e gesso agrícola. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR, 2024.

			Profundidade 0-5		
	Dolomítico	Fort Calcio	Oxido	Testemunha	Média
Com Gesso	7,4	6,2	5,4	4,7	5,9 A
Sem Gesso	6,2	5,0	5,0	2,9	4,7 B
Média	6,8 a	5,6 b	5,2 b	3,7 c	
			Profundidade 5-10		
	Dolomítico	Fort Calcio	Oxido	Testemunha	Média
Com Gesso	6,1	5,3	4,9	4,5	5,2 A
Sem Gesso	5,1	4,3	4,1	2,9	4,1 B
Média	5,6 a	4,8 ab	4,5 bc	3,7 c	
			Profundidade 10-20		
	Dolomítico	Fort Calcio	Oxido	Testemunha	Média
Com Gesso	4,1	4,2	3,6	4	4 A
Sem Gesso	2,9	2,7	3	2,8	2,8 B
Média	3,5 a	3,4 a	3,3 a	3,4 a	
			Profundidade 20-40		
	Dolomítico	Fort Calcio	Oxido	Testemunha	Média
Com Gesso	3,9	3,7	2,9	3	3,3 A
Sem Gesso	2,9	2,5	2,9	3,2	2,8 B
Média	3,4 a	3 a	2,9 a	3,1 a	

*Letras minúsculas diferem na linha e maiúscula na coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Embora o gesso não tenha influenciado os teores de Mg^{2+}, sua aplicação resultou em um aumento do pH nas camadas mais profundas (10-20 e 20-40 cm), evidenciando sua capacidade de modificar o pH do solo em subsuperfície, mesmo não sendo um corretivo de acidez propriamente dito (Nolla, 2004).

A saturação por bases também foi influenciada pelos tratamentos, com o calcário dolomítico elevando os níveis nas camadas superficiais e o gesso promovendo o aumento nas camadas mais profundas. "No estado do Paraná, as recomendações sobre a aplicação de calcário visam elevar a saturação por bases a 70%" (Quaggio, 1989).

A aplicação dos corretivos dolomítico, óxido e FortCálcio neutralizou o Al^{3+} nas camadas superficiais, enquanto o gesso demonstrou eficácia na neutralização do Al^{3+} em todas as profundidades. "O íon Al^{3+} é visto como um dos principais elementos que prejudicam a habilidade das plantas em formar raízes e explorar solos ácidos" (Caires *et al*., 1998, 1999 e 2006; Alleoni *et al*., 2005; Echart e Cavalli-Molina, 2001).

A produção de matéria seca de centeio foi significativamente influenciada pelos tratamentos, com os maiores rendimentos observados nos tratamentos que combinaram calcário dolomítico ou óxido de cálcio e magnésio com gesso agrícola. "Embora alguns estudos mostrem que os benefícios do uso de gesso na produtividade das culturas podem perdurar por mais de 15 anos (Toma *et al*., 1999), essa resposta pode variar bastante" (Tiecher *et al*., 2018).

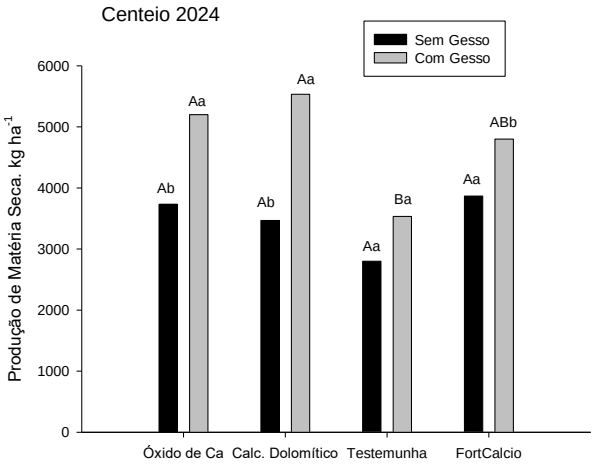


Figura 1 – Produção de matéria seca (kg ha^{-1}) de centeio cultivado sob uso de corretivos da acidez e gesso agrícola. UTFPR Campus Dois Vizinhos, PR, 2024. *Letras maiúsculas diferem entre os corretivos dentro de com ou sem gesso agrícola e minúscula diferem entre com e sem gesso dentro de cada corretivo.

CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou a eficácia dos corretivos de acidez e gesso agrícola na melhoria dos atributos químicos do solo e no aumento da produção de matéria seca de centeio. O calcário dolomítico se destacou na elevação dos teores de Ca^{2+}, Mg^{2+} e pH nas camadas superficiais do solo, enquanto o gesso agrícola contribuiu para o aumento dos teores de Ca^{2+} e pH, além da neutralização do Al^{3+}, em profundidade.

A aplicação de gesso agrícola também proporcionou um aumento significativo na produção de matéria seca de centeio, evidenciando seus benefícios para a produtividade da cultura.

Os resultados obtidos neste trabalho reforçam a importância da aplicação de corretivos de acidez e gesso agrícola para a melhoria da fertilidade do solo e o aumento da produtividade de culturas em sistema de plantio direto.

AGRADECIMENTOS

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

BIBLIOGRAFIA

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo Roxo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 775-784, 2005.

CAIRES, E.F.; ALLEGRETTI, L.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Efeitos do sistema de cultivo e da calagem superficial na acidez do solo e no rendimento do milho e soja em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; ALLEGRETTI, L.F.; BARTH, G.; FARIAS, A. Uso de gesso e calcário na correção da acidez do solo e no rendimento de culturas em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 171-182, 1999.

CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S. Efeitos da aplicação de calcário e gesso na acidez do solo e no rendimento de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 325-338, 2006.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Mobilidade do cálcio no perfil de um Latossolo Vermelho distroférrico em função da aplicação de gesso e calcário na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 325-338, 2003.

CREMON, C.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S.; BORTOLUZZI, E.C.; DOS SANTOS, E.J.S.; DOS SANTOS, G.G. Mobilidade de cálcio e magnésio no perfil do solo em sistemas de manejo com aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1295-1304, 2009.

ECHART, S.C.; CAVALLI-MOLINA, S. Influência do alumínio na nutrição mineral de plantas cultivadas em solos ácidos. **Ciência Rural**, v. 31, n. 5, p. 817-822, 2001.

NOLLA, A. **Calagem e adubação para culturas de grãos em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1989.

RAMPIM, L.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S.; DOS SANTOS, E.J.S.; DOS SANTOS, G.G. Mobilidade de cálcio e magnésio no perfil do solo em sistemas de manejo com aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 159-168, 2011.

SERAFIM, M.E.; RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; DOS SANTOS, E.J.S.; DOS SANTOS, G.G. Mobilidade de cálcio e magnésio no perfil do solo em sistemas de manejo com aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 171-180, 2012.

TIECHER, T.; DOS SANTOS, D.R.; BAYER, C.; BRUNETTO, G.; GIACOMINI, S.J. Efeitos de longo prazo da aplicação superficial de gesso agrícola na acidez e no enxofre do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

TOMA, M.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; ALVAREZ, V.H. Efeito da aplicação de gesso agrícola na produtividade de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 917-923, 1999.

ZAMBIASI JÚNIOR, R.C. **Avaliação do impacto do calcário filler na fertilidade do solo e produtividade da soja**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

FOSFATOS NATURAIS DE ALTA REATIVIDADE NO CRESCIMENTO DA CULTURA DA AVEIA (Avena strigosa) EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO

Evelyn Joslin Mendes[1*], Daniele Vicente Engelhardt Cordeiro[2], Antonio Carlos Vargas Motta[3]

[1]Estudante de Mestrado da Universidade Federal do Paraná *evelynjmendes@gmail.com; [2]Estudante de Mestrado da Universidade Federal do Paraná; [3]Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná.

RESUMO

A consolidação de níveis adequados de P na maioria dos solos agrícolas brasileiro, diminui a dependência de um pronto suprimento de P, possibilitando o uso de fontes menos solúveis e diminuir a frequência de aplicação sem comprometer a produtividade das culturas. Desse modo, o objetivo deste estudo foi investigar a substituição de fonte solúvel (Super triplo) por fosfatos naturais reativos (BR, NF e AS), no desenvolvimento e produtividade da Aveia Preta (*Avena Strigosa*) com a finalidade de cobertura para cultura da soja, em duas épocas de adubação (individual e no sistema). Ao final do desenvolvimento da cultura a altura foi inferior à fonte solúvel apenas para o tratamento AS. A análise do solo após a colheita não indicou diferenças entre os tratamentos para as características avaliadas. A massa seca não sofreu influência da época de aplicação e a fonte solúvel foi significativamente igual a fonte NF e BR.

PALAVRAS-CHAVE: fosfato natural; adubação de sistema; plantio direto; aveia.

INTRODUÇÃO

Para sobrepor a carência e a elevada capacidade de fixação de P dos solos brasileiros quantidade muito maior que a absorvida pelas culturas foram recomendadas em longo de dezenas de anos, resultando em aumento dos níveis no solo (Pavinato *et al*., 2020), o que permitiria redução das doses do mesmo. Mas, também nas últimas décadas ocorreu um aumento do potencial produtivo das culturas exigindo adubação mais robusta. Soma-se a isso o aumento da adubação de culturas de cobertura e para alimentação animal, que por muito tempo foram consideradas culturas marginais e de baixo investimento (Oyetunji *et al*., 2022) também resultam em maior uso.

Para atender esta alta demanda de fertilizantes fosfatados, com baixo custo e menor pegada de carbono, vem sendo indicado os fosfatos naturais reativo (FNR) com fontes alternativas de fósforo, de menor solubilidade. Porém, por possuírem menor solubilidade, a liberação no solo é mais lenta, mas podem não atender toda a exigência inicial de P pela cultura (Pavinato *et al*., 2020). Por isso, vem sendo estudado, da mistura de fontes de maior solubilidade com fontes parcialmente solúveis.

O movimento no sentido reduzir mão de obra, custo e melhorar o manejo, aplicação em dose única da quantidade necessária para as duas culturas em rotação, vêm sendo recomendada, aproveitando do alto efeito residual do P e elevada capacidade da segunda cultura no uso do P, como exemplo a sucessão aveia-soja no sul do Brasil. Neste novo cenário de níveis elevados nos solos, altas produtividade e adubação de plantas de cobertura, a pesquisa sobre fontes e épocas de aplicação são necessárias. Assim, o objetivo desse estudo é verificar a substituição de 70 % do adubo fosfatado solúvel por três fontes de FNR na cultura da Aveia preta (*Avena Strigosa*) cultivadas como cobertura no sistema plantio direto. Ainda, avaliadas a aplicação de todo do P na rotação aveia-soja, todo na cultura da aveia e em separado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na cidade de Lapa-PR, durante a safra de inverno de 2024. Onde foi cultivado aveia preta com a finalidade de produção de biomassa verde, sob sistema de plantio direto. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 5 x 2, totalizando 10 tratamentos com 4 repetições. O cinco corresponde o suprimento de P distribuído a lanço na área total de cada parcela

utilizando os seguintes tratamentos: I) Controle sem P; II) fosfato natural do Norte da África (NF) (70%) combinado com super triplo (ST) (30%); III) fosfato natural da América do Sul (AS) (70 %) combinado com ST (30%); IV) fosfato magmático brasileiro de alta reatividade (BR) (70%) combinado com ST (30%); V) Suprimento de P apenas via ST (100%). O número dois corresponde a época de aplicação do P, indicado a seguir: I) Adubação de sistema – todo o fósforo necessário para as culturas da aveia e da soja foi realizado integralmente na aveia. II) Adubação individual ou por cultura – o P necessário para a aveia e para a cultura subsequente foi aplicado individualmente na aveia e foi aplicado individualmente na cultura posterior. A necessidade de fósforo das culturas foi calculada, de acordo com a análise química e física da área experimental (Tabela 1). As parcelas possuíam dimensão de 6m x 2,25m (13,5 m²), com espaçamento entre elas de 50 cm.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos da camada de 0-20 cm de latossolo do munícipio Lapa-PR.

pH	C (g dm^{-3})	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Al^{3+}	H+Al	P	Cu	Mn	Zn	Argila	Areia	Silte
$CaCl_2$		cmol$_c$ dm^{-3}					mg dm^{-3}				g kg^{-1}		
4,68	16,40	7,71	2,84	0,28	0,18	5,50	22,77	0,52	1,67	0,58	241,0	675,0	85,0

As análises químicas e texturais do solo foram feitas antes da implantação do experimento, para a caracterização da área. Foram coletadas amostras de 0-20 cm de cada um dos blocos, utilizando trado do tipo sonda calador. Após a colheita da biomassa produzida pela aveia, foram coletadas 10 subamostras na camada de 0-20 cm do solo, constituindo 1 amostra composta por parcela, para análise química do solo. A análise textural foi realizada usando o método do densímetro. Para realização das análises químicas as amostras de solo foram secas, moídas e passadas em uma peneira de 2mm. Posteriormente foi determinado o pH em $CaCl_2$, acidez potencial (H+Al) pelo método SMP, carbono orgânico (C). O alumínio trocável (Al^{3+}), Ca e Mg foram extraídos por KCl 1 mol L^{-1}. P e K foram extraídos por Mehlich. O Al^{3+} foi determinado por titulação com NaOH 0,2 mol L^{-1}, P por espectrofotometria, K por fotometria de chama, Ca e Mg por Absorção Atômica (Marques; Motta, 2003). A altura das plantas foi avaliada tomando como amostra 10 plantas de cada parcela. A primeira avaliação de altura foi realizada no início do desenvolvimento, em pleno perfilhamento para analisar o desenvolvimento inicial e a segunda antes de ser realizado o corte, quando as plantas estavam no final do alongamento. Para a determinação da massa seca das plantas, foi coletada toda a parte aérea das plantas, de 2 quadrados de 0,5x0,5 m por parcela, quando as mesmas estavam no final do alongamento, foram secas em estufa de ventilação forçada (65 °C) e posteriormente pesadas.

Os dados obtidos nos experimentos foram analisados usando o software R. Foram testados os pressupostos da ANOVA. Os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett foram utilizados para a verificação da normalidade e homocedasticidade, respectivamente. O teste de Ducan foi aplicado ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura das plantas foi afetada pelas fontes e épocas de adubação, mas não houve interação entre os fatores ($p>0,05$) para as duas avaliações de altura realizadas (Figura 1). A adubação no sistema, gerou maior altura das plantas do que a individual (Figura 1). Em relação às fontes de fósforo, a fonte solúvel (ST) e o BR resultaram em uma altura superior as fontes AS e NF na primeira avaliação. Na segunda avaliação a altura de NF foi igual ao ST e BR, indicando que o suprimento inicial de P para a cultura foi comprometido, mas que ao longo do ciclo houve a sua disponibilização, compensando o déficit anterior, sem prejuízos para a altura final das plantas. Isso é comprovado pela produção da massa seca, já que o ST, NF e BR resultaram em produções semelhantes (Figura 2).

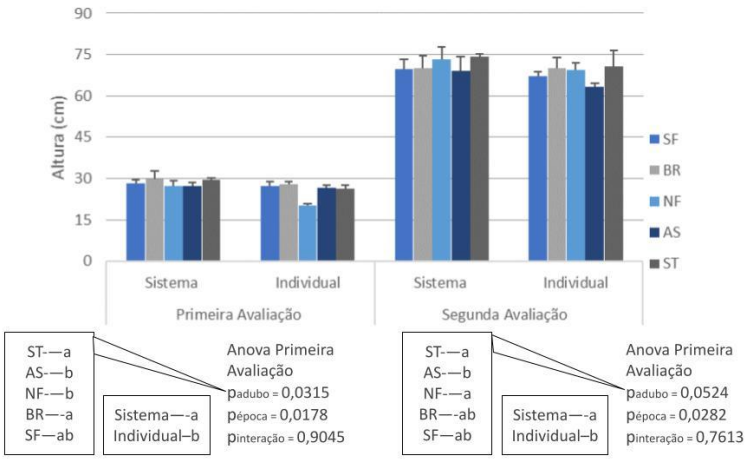


Figura 1. Altura das plantas de aveia preta em dois períodos de crescimento cultivada sob influência de fontes de P e manejo da aplicação, Lapa – PR. Nota: SF= Sem fósforo; BR = fosfato magmático brasileiro de alta reatividade; AS = Fosfato natural da América do Sul; NF = Fosfato natural do Norte da África; ST = Super Triplo

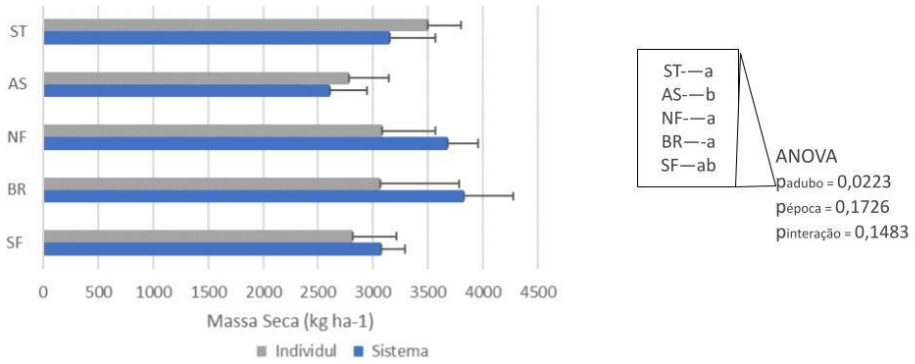


Figura 2. Massa seca da Aveia Preta em cultivada sob influência de fontes de P e manejo da aplicação, Lapa – PR. Nota: SF= Sem fósforo; BR = fosfato magmático brasileiro de alta reatividade; AS = Fosfato natural da América do Sul; NF = Fosfato natural do Norte da África; ST = Super Triplo

Para a massa seca, não houve interação dos fatores ($p_{interação}>0,05$). E não foi identificado diferença entre as épocas de adubação, desse modo apenas as fontes mostraram diferença entre si (Figura 2). A produção de massa seca para NF e BR foram iguais ao tratamento apenas com ST, indicando que conseguiram suprir a necessidade da cultura. Resultados semelhantes foram observados por Amorin *et al.* (2024), que ao avaliar fontes solúveis e parcialmente solúveis de P aplicadas em duas épocas, constatou que que não houve diferença entre essas fontes e entre época de adubação (sistema e individual) na produção acumulada durante três safras para aveia e trigo. No presente estudo a fonte AS foi a única parcialmente solúvel que teve uma produção inferior ao tratamento com ST, indicando que mesmo com o suprimento da fonte solúvel, a disponibilização de P ao longo do ciclo da cultura não atendeu a exigência pelo nutriente.

Os parâmetros do solo avaliados não tiveram diferença significativa (Tabela 2). Tal resultado, mesmo com diferença na produção de massa seca entre as fontes, pode estar relacionado a distribuição dos adubos ter sido feitas a lanço e sem incorporação, resultando em uma movimentação mínima do mesmo P no perfil do solo. Esse resultado corrobora com os obtidos por Guera e Fonseca (2022), em que durante 5 anos de experimento aplicando diferentes fontes de fósforo a lanço sem incorporação em uma área de plantio direto, não observou influência sobre a concentração das frações de P no solo.

Tabela 2. Características do solo após a coleta da biomassa produzida pela aveia preta cultivada sob influência de fontes de P e manejo da aplicação, Lapa – PR.

Atibuto do solo	Unidade	Sistema						Individual						
		ST	OR	GF	BY	SF	Efeito	ST	OR	GF	BY	SF	Efeito	Interação
pH $CaCl_2$		5,02	4,86	5,11	4,83	4,91	ns	4,95	4,5	4,83	4,95	4,89	ns	ns
C	g dm^{-3}	18,26	14,64	15,07	18,2	14,77	ns	16,14	13,57	13,99	18,8	17,8	ns	ns
Ca^{2+}	cmolc dm^{-3}	7,94	7,17	8,2	8,85	7,26	ns	9,07	8,11	7,19	8,53	8,22	ns	ns
Mg^{2+}	cmolc dm^{-3}	1,88	1,65	1,78	1,88	1,60	ns	2,10	1,78	1,60	1,90	2,01	ns	ns
K^{+}	cmolc dm^{-3}	0,42	0,44	0,41	0,32	0,33	ns	0,29	0,34	0,35	0,38	0,34	ns	ns
Al^{3+}	cmolc dm^{-3}	0,09	0,2	0,05	0,1	0,15	ns	0,13	0,09	0,13	0,12	0,04	ns	ns
H + Al	cmolc dm^{-3}	4,78	5,13	4,38	5,25	5,1	ns	4,65	4,75	5,2	4,7	5,05	ns	ns
P	mg dm^{-3}	28,17	22,20	25,29	27,78	22,30	ns	23,08	23,50	28,11	28,69	21,91	ns	ns

ns = não significativo

CONCLUSÕES

O uso de fosfatos naturais combinada a fonte solúvel pode ser uma alternativa rentável para a manutenção dos níveis de fósforo em solos com altos níveis do nutriente. O uso da fonte NF e BR promoveu a mesma produção de massa seca que a fonte solúvel. A época de adubação foi significativa apenas para a altura das plantas, mas não na produtividade final da cultura. A fonte Bayóvar se mostrou menos eficiente nessa primeira safra, podendo ser resultado da sua menor solubilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, a Universidade Federal do Paraná e a CAPES por proporcionarem estrutura, conhecimento e recursos para elaboração desse trabalho.

BIBLIOGRAFIA

AMORIM, M.B.; TIECHER, T.; FONTOURA, S.M.V. Phosphorus Fertilizer Efficiency and Phosphorus Availability in No-Till Subtropical Oxisols. **J Soil Sci Plant Nutr**, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s42729-024-02187-w. Acesso em: 25/02/25

GUERA, K. C. S.; De FONSECA, A. F. (2022). Phosphorus fractions and their relationships with soil chemical attributes in an integrated crop-livestock system under annual phosphates fertilization. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, *6*, 893525, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.893525. Acesso em: 25/02/25

MARQUES, R., MOTTA, A. C. V. Análise química do solo para fins de fertilidade. *In*: Lima, M. R., Sirtoli, A. E., Serrat, B. M., Wisniewski, C., Almeida, L., Machado, M. A. M., Marques, R., Motta, A. C. V., Krieger, K. I., Oliveira, A.C., Ferreira, F. V. (eds). **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. Curitiba: Universidade Federal do Paraná**. pp. 81-102, 2003.

PAVINATO, Paulo S. *et al*. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 15615, 2020. Dísponível emhttps://www.nature.com/articles/s41598-020-72302-1. Acesso em: 25/02/25

OYETUNJI, O.; BOLAN, N.; HANCOCK, G. A comprehensive review on enhancing nutrient use efficiency and productivity of broadacre (arable) crops with the combined utilization of compost and fertilizers. **Journal of environmental management**, 317, 115395, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115395. Acesso em: 25/02/25

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERDAS DE POTÁSSIO EM BACIA HIDROGRÁFICA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO: IMPACTOS ECONÔMICOS E ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO

Edson Lucas Camilo[1*], Renata Alessandra Martins Borecki[2], Nerilde Favaretto[3], Cristiano Andre Pott[4], Marcelo Marques Lopes Müller[4]

[1] Pós-doutorando, Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). *edson.lcamilo03@gmail.com; [2] Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UNICENTRO. [3] Professora do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR). [4] Professor do Departamento de Agronomia, UNICENTRO.

RESUMO

A erosão hídrica causa grande degradação nos agroecossistemas, gerando perdas de solo e nutrientes, e comprometendo a sustentabilidade e a economia da produção. Nesse estudo avaliaram-se teores médios de potássio (K) na água do rio, perdas de K e monetização dessas perdas em uma bacia hidrográfica sob sistema plantio direto na safra de inverno de 2023. Precipitação (PCP) e vazão do rio (Q) foram monitoradas e houve coleta diária de amostras da água para análise. Maiores teores e perdas de K ocorreram em julho, outubro e novembro, devido à fertilização no início da safra, e PCPs e senescência das culturas no final da safra. Teores de 1,19 a 1,69 mg L^{-1} geraram perdas de 1,05 a 5,61 kg ha^{-1} $mês^{-1}$, monetariamente estimadas em R$ 73,84 ha^{-1}. Conclui-se pela necessidade de práticas como terraceamento e manejo da fertilização para minimizar perdas de K e garantir sustentabilidade agrícola e econômica.

PALAVRAS-CHAVE: microbacia, escoamento superficial, perdas monetárias.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a erosão hídrica é um dos principais fatores de degradação dos solos agrícolas, resultando em perdas significativas de solo e nutrientes, o que compromete a sustentabilidade da produção agrícola. Essas perdas não apenas geram custos econômicos elevados devido à necessidade de reposição de nutrientes, mas também contribuem para problemas ambientais, como a contaminação de corpos d'água e a redução da produtividade das culturas. Dentre os nutrientes afetados, o potássio (K) merece destaque, uma vez que sua perda, embora não represente um impacto ambiental direto, degrada a qualidade química do solo e aumenta os custos com fertilização (Zhu *et al*., 2024).

As principais vias de perda de potássio em áreas agrícolas são a lixiviação e o escoamento superficial, processos intensificados durante precipitações volumosas e constantes (Kudeyarov *et al*., 1981; Goulding *et al*., 2021). Nesse contexto, práticas de manejo e conservação do solo, como a manutenção de palha na superfície e a adoção de terraceamento, têm se mostrado eficazes na redução das perdas de K, principalmente por minimizar o escoamento superficial e a lixiviação (Zhu *et al*., 2024). No entanto, a eficácia dessas práticas pode variar conforme condições locais como tipo de solo, clima e sistema de cultivo.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os teores médios, perdas mensais e perdas monetárias de K em uma bacia hidrográfica rural cultivada sob sistema plantio direto (SPD) sem presença de terraços, durante a safra de inverno de 2023. A compreensão desses processos é fundamental para propor estratégias de manejo que promovam a sustentabilidade agrícola e minimizem as perdas de nutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma bacia hidrográfica rural (BH) no distrito de Entre Rios, em Guarapuava, Paraná (25º 33’ S, 51º29’ O, altitude de 1.124 m), sob clima Cfb (Köppen-Geiger) com temperatura média anual de 17ºC, verões frescos, chuvas bem distribuídas e ocorrência de geadas (Alvares *et al*., 2013). A precipitação média anual histórica (1976 a 2019) é de 1.919 mm (IDR, 2023). O monitoramento foi realizado

entre julho e novembro de 2023. Com área de 118,8 ha, é composta por 13 talhões manejados sob SPD, área de preservação permanente (mata) e um rio de primeira ordem.

O Latossolo Bruno predominante no local foi analisado, revelando teores de areia, silte e argila (0-0,2 m) de 49,5, 180,5 e 770 g kg^{-1} de solo. Dados de vazão (Q) e precipitação (PCP) foram monitorados com resolução de 5 minutos, por meio de estação hidrosedimentológica instalada no exutório da BH. Utilizou-se calha *Parshall* de 36", com K e n de 7.855,2 e 1,566, respectivamente. O volume e intensidade das precipitações foram mensurados por pluviógrafo conectado a *datalogger*, e corrigidos pelo volume de precipitação acumulado no pluviômetro de *Ville de Paris*. A vazão média (Q_{med}) do rio foi calculada com base nos valores do nível de água, obtido por linígrafo automático instalado na calha *Parshall* (Equação 1):

$$Q = K \times H^n \quad \textbf{(1)}$$

Onde: Q = vazão volumétrica em $m^3\ s^{-1}$.

H= altura da linha da água na entrada da calha, expressa em metros.

K e n= constantes em função das dimensões da calha e ajuste de unidade.

Para o hidrograma e o hietograma, foram utilizados dados de monitoramento com resolução de 5 minutos. Com os dados de vazão durante o dia, calculou-se a vazão média (Q_{med}) diária do rio, enquanto a PCP diária foi calculada somando-se todos os valores de PCP registrados em cada dia.

Amostras de água do rio foram coletas diariamente com amostrador automático de sedimentos (ISCO® 3700) instalado na calha Parshall, sendo depositadas em garrafas no equipamento e semanalmente enviadas ao laboratório para análise, por meio de digestão nitroperclórica (HNO_3 + $HClO_4$, 4:1) e determinação de teores totais de K com fotômetro de chama, conforme metodologia adaptada de EMBRAPA (2009).

Para estimar as perdas totais do nutriente, as concentrações das amostras foram interpoladas com resolução de 5 minutos, coincidindo com os dados de Q mensurados. As perdas do nutriente (PN) mensais foram estimadas integrando o produto da descarga e a concentração do nutriente ao longo do tempo (Equação 2)

$$PN = \int_{t1}^{t2} QtCtdt \quad \textbf{(2)}$$

Onde PN é a perda do nutriente em um determinado período (*t2-t1*), *Qt* é a descarga no tempo *t*, *Ct* é a concentração do nutriente no tempo *t* e *dt* é o intervalo de tempo de duração infinitesimal.

A perda monetária do nutriente (Equação 3) foi calculada utilizando como base os valores de R$ 2.573,32 Mg^{-1} para cloreto de potássio (KCl – 60% K_2O) (CONAB, 2023).

$$PM\$ = \frac{PN}{(\frac{TF}{100})} * V * A \quad \textbf{(3)}$$

Onde P*M$* é a perda monetária do nutriente (R$ ha), *PN* é a perda do nutriente no período (Mg^{-1}), TF é a quantidade (%) do nutriente no fertilizante, *V* é o valor da Mg^{-1} do fertilizante (R$ Mg^{-1}) e *A* é a área de contribuição da bacia hidrográfica (ha^{-1}).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo as médias mensais de teores acompanhadas do erro padrão. A construção dos gráficos foi feita no software *SigmaPlot* 12.0 (Sigmaplot, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características de PCP e Q_{med} do rio são exibidas na figura 1a. Maiores Q_{med}, relacionadas a PCPs volumosas, ocorreram nos meses de julho, outubro e novembro de 2023. Em linhas gerais, os meses de julho e novembro apresentaram teores superiores aos meses de agosto e setembro de 2023 (figura 1b), sendo que o mês de outubro apresentou comportamento intermediário, não diferindo de nenhum dos meses avaliados. O resultado observado para o mês de julho está relacionado a dois fatores principais: a recente semeadura das culturas de inverno (cevada e aveia) com fertilização (NPK) mineral solúvel, e ocorrência de PCPs com volume próximo à 100 mm dia^{-1} próximo da semeadura, capazes de elevar o escoamento superficial e as

perdas do nutriente, devido a sua disponibilidade e solubilidade no fertilizante, sobretudo na fração solúvel (Bertol *et al.,* 2011).

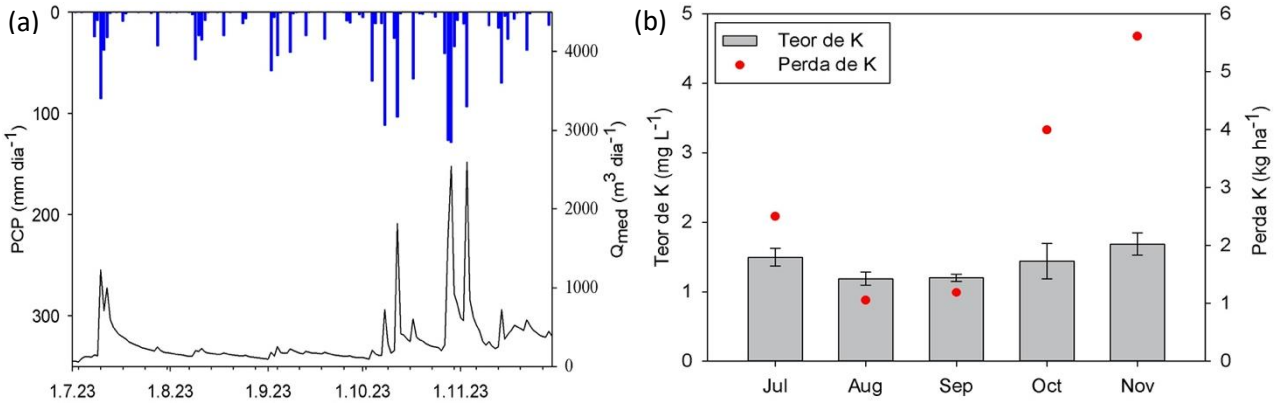


Figura 1. Hidrograma e hietograma (a) e teores médios de K e perda total de K estimada (b). Guarapuava-PR, 2023.

A partir de agosto, a cobertura do solo aumentou devido ao estádio mais avançado de desenvolvimento da cevada, da aveia preta e do mix de plantas de cobertura cultivados na BH (apenas 2 talhões em pousio). E como é comum para o período de inverno, as PCPs foram menos volumosas em agosto, setembro e primeiro decênio de outubro, condições que, associadas, resultaram em menores teores de K no rio, menor Q_{med} e menores perdas do nutriente (Zhu *et al*., 2024). A partir do segundo decênio de outubro, porém, ocorreram PCPs volumosas, que levaram a aumentos momentâneos dos teores de K na água do rio, incremento que resultou em maior amplitude dos dados para o mês, o que pode explicar a ausência de diferenças significativas de teores entre agosto, setembro e outubro.

Nos dois últimos decênios de outubro e no mês de novembro, as PCPs foram mais frequentes e volumosas, ocasionando maiores teores e perdas de K. Esse aumento está relacionado ao transporte do nutriente por escoamento superficial e efeito cumulativo da lixiviação sobre o K do fertilizante associado às culturas, como evidenciam os maiores teores de K observados no período para condições de fluxo de base no rio (Goulding *et al*., 2021). Além disso, em novembro as culturas começaram a senescer, diminuindo a cobertura do solo e liberando o K presente em seus tecidos vegetais para o solo (Rosolen *et al.*, 2021). O nutriente, então, tornou-se mais disponível e suscetível ao transporte por escoamento superficial, contribuindo para o aumento dos teores no rio.

Apesar dos efeitos da fertilização, das PCPs e da liberação de K pelos resíduos vegetais, os teores médios do nutriente observados no presente estudo foram significativamente inferiores aos reportados por Bertol *et al.* (2003). Esses autores, ao avaliarem diferentes intensidades de preparo do solo, encontraram teores de K entre 5,78 e 16,95 mg L^{-1} em áreas sob SPD, com 6 e 9 anos de adoção. A diferença observada pode ser atribuída ao maior tempo de adoção do SPD no presente estudo, onde alguns talhões são cultivados há mais de 30 anos sob esse sistema.

A estimativa de PM$ durante a safra de inverno de 2023 foi de R$ 73,84 ha^{-1}. O valor corresponde a 14,35 kg ha^{-1} de K perdidos no período, a serem repostos por meio da adição de 28,69 kg ha^{-1} de KCl (60% K_2O). Considerando a área de 118,8 ha da BH, a perda total seria de R$8.772,19, número que dá indícios de valores consideráveis se consideradas BHs com áreas maiores, ou áreas de atuação de cooperativas e revendas, na escala de milhares de hectares.

Para reduzir tais perdas e seus possíveis impactos ambientais, é necessário otimizar as práticas agrícolas, como manejo de fertilizantes potássicos e, sobretudo, controle do escoamento superficial, por

meio da construção de terraços, algo necessário mesmo em áreas conduzidas sob SPD (Bertol *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2024), como é o caso da BH monitorada no presente estudo.

CONCLUSÕES

Os maiores teores de K foram observados logo após a semeadura e fertilização das culturas de inverno, em julho, e durante a ocorrência de PCPs volumosas no final da safra, entre outubro e novembro. Maiores perdas do nutriente estão relacionadas à maiores Q_{med} do rio, e reiteram a importância da retenção do escoamento superficial, através de práticas de conservação como cultivo em nível e terraceamento. Embora não apresente potencial poluidor e risco ambiental grave, as perdas de K significam redução da eficiência agronômica dos fertilizantes e menor sustentabilidade econômica da atividade agrícola. As PM$s relativas a K representam significativo custo aos agricultores.

AGRADECIMENTOS

À equipe dos Laboratórios de Solos e Nutrição de Plantas e de Física, Manejo e Conservação do Solo da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, pelo apoio. Ao financiamento da Fundação Araucária, do SENAR-FAEP, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil). À concessão de bolsa pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil), e à parceria da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA).

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; FEY, E.; LANA, M. do C. Perda de nutrientes via escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1914–1920, 2011.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 485–494, 2003.

CONAB. **Insumos Agropecuários**. Disponível em: <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?d-6983528-p=3&uf=PR&anoFinal=&ano=2023&method=acaoListarConsulta&idSubGrupo=71&btnConsultar=Consultar&jcaptcha=5x6t&idGrupo=27>. Acesso em: 11 fev. 2025.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

GOULDING, K.; MURRELL, T. S.; MIKKELSEN, R. L.; ROSOLEM, C.; JOHNSTON, J.; WANG, H.; ALFARO, M. A. Outputs: Potassium Losses from Agricultural Systems. (T. S. Murrell, R. L. Mikkelsen, G. Sulewski, R. Norton, M. L. Thompson) *In:* **Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 75–97.

IDR. **Dados Meteorológicos Históricos e Atuais**. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Dados-Meteorologicos-Historicos-e-Atuais>. Acesso em: 10 fev. 2025.

KUDEYAROV, V. N.; BASHKIN, V. N.; KUDEYAROVA, A. Yu. Losses of Nitrogen, Phosphorus and Potassium from Agricultural Watersheds of Minor Rivers in the Oka Valley. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 16, n. 3, p. 267–276, 1981.

ROSOLEM, C. A.; MALLARINO, A. P.; NOGUEIRA, T. A. R. Considerations for Unharvested Plant Potassium. (T. S. Murrell, R. L. Mikkelsen, G. Sulewski, R. Norton, M. L. Thompson) *In:* **Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops.** Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 147–162.

SIGMAPLOT. **SigmaPlot 12 for Windows Version 11.0. Statistics for User's Guide.**Chicago. Systat Software Inc., 2012.

ZHU, D.; XIA, Y.; LIU, D.; ZHANG, Z.; ZHANG, F.; WU, M.; CHENG, Z.; NI, C.; YU, Y.; FAN, X. Optimized management stabilized crop yield and mitigated the risk of potassium loss across different rotations in the middle of Yangtze River basin in China. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 16, p. 101137, 1 jun. 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

O EFEITO DO TERRACEAMENTO NA ACIDEZ DO SOLO

Ana Clara Fermino Fernandes[1*], Matheus Bortolote[1], Carlos Alberto Casali[2], André Pellegrini[2], Dinéia Tessaro[2]

[1] Bolsista de Apoio Técnico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV)

*anafer.2003@alunos.utfpr.edu.br, [2]Professor de Solos da UTFPR-DV.

RESUMO

A ausência de terraceamento pode intensificar a erosão e a acidificação do solo. Este estudo avaliou o efeito do terraceamento na acidez do solo em diferentes profundidades. O experimento foi realizado na UTFPR, em Dois Vizinhos (PR), entre outubro de 2022 e março de 2023, em um Nitossolo Vermelho sob clima subtropical úmido. Foram analisadas duas mega parcelas de 1,8 hectares, uma com terraços mantidos e outra sem terraços. Amostras foram coletadas em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) e analisadas quanto ao pH-$CaCl_2$ e pH-SMP. Os resultados indicaram aumento da acidez com a profundidade, sem diferenças significativas entre áreas com e sem terraceamento. Conclui-se que o terraceamento contribui para a estabilidade do pH e do índice SMP, sendo uma prática essencial para a conservação do solo e a sustentabilidade agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; práticas agrícolas; terraceamento.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um grande desafio para a sustentabilidade agrícola, pois o escoamento superficial afeta a fertilidade do solo, que remove matéria orgânica e nutrientes essenciais, além de comprometer a qualidade da água ao transportar sedimentos (Sousa, 2011). Segundo Backes (2023), práticas conservacionistas, como o terraceamento, são fundamentais para reduzir os impactos da erosão e preservar o solo, diminuindo a velocidade do escoamento e promovendo maior infiltração de água, o que melhora as condições para o crescimento das plantas.

A erosão também impacta a acidez do solo, expondo horizontes mais ácidos e empobrecendo o solo em cátions com papel nutricional, como potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). O terraceamento ajuda a reduzir esse efeito, controlando o escoamento e mantendo nutrientes no solo (Utzig, 2022).

A acidez do solo, que pode ser ativa ou potencial, é um fator crítico para a fertilidade. A acidez ativa é medida pelo pH e resulta dos íons H^+ dissolvidos no solo, enquanto a acidez potencial é estimada pelo índice SMP. A medição do pH é fundamental para determinar a necessidade de calagem, enquanto a acidez potencial ajuda a estimar a quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez e adaptar o solo ao cultivo (Júnior *et al.*, 2015). O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do terraceamento na acidez do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da UTFPR, no município de Dois Vizinhos, região sudoeste do Paraná (PR), em um Nitossolo Vermelho cultivado sob sistema de plantio direto há 25 anos e terraços construídos há duas décadas. A área experimental está localizada nas coordenadas 25°42'3" de latitude Sul e 53°5'57" de longitude Oeste, a uma altitude de 510 metros. O clima na região foi classificado como Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida, com média superior 22 ºC no mês mais quente e inferior a 18 ºC no mais frio, com chuvas bem distribuídas nas quatro estações do ano, tendo precipitação acumulada de 1267 mm no período de outubro de 2022 e março de 2023.

Em maio de 2019, foram demarcadas duas parcelas, denominadas “megaparcelas”, com 1,8 hectares cada, sendo uma mantida os terraços e a outra os terraços foram retirados com auxílio de máquinas agrícolas. Como referência, utilizou-se uma área de vegetação natural adjacente às parcelas.

As amostras de solo foram coletadas em outubro de 2022, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 e 30-40 cm, em 32 pontos por tratamento, sendo armazenadas em sacos plásticos. Em seguida, foram levadas à estufa para secagem a aproximadamente 65°C. Após a secagem, o solo foi triturado em um moinho de martelo, peneirado em uma malha de 2 mm de diâmetro para remoção de torrões e impurezas e, por fim, armazenado.

A avaliação de pH foi realizada conforme metodologia do IAPAR (1971), para determinar o pH em $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}, adiciona-se 10g de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) em um recipiente e são adicionados 25 mL da $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} à amostra de solo. A mistura foi agitada por 15 minutos utilizando um agitador de mesa e após 30 minutos efetuou-se a leitura do pH com pHmetro de bancada.

Após essa etapa, procedeu-se a adição de 5 ml de solução SMP, uma mistura tampão, agitada por 20 minutos a 220 rpm e deixada em repouso durante a noite. No dia seguinte, realizou-se mais agitação por 10 minutos, seguido de repouso de 30 minutos e posterior leitura do pH com pHmetro de bancada.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5%, utilizando-se o programa SASM-Agri (Canteri *et al*., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 representa a relação entre a profundidade do solo e o pH medido com $CaCl_2$, fornecendo uma visão detalhada das variações químicas ao longo do perfil de solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Na camada de 0-10 cm o pH-CaCl2 do solo ficou entre 5,0 e 5,1, indicando que não houve diferença significativa no pH-$CaCl_2$ do solo entre as parcelas com e sem terraço para nenhuma das camadas analisadas (Figura 1). Isso indica que até esse momento os processos erosivos são mais significativos na parcela sem terraço, não sendo suficientes para alterar significativamente a acidez do solo.

Em ambos os tratamentos, observa-se uma redução do pH conforme aumenta a profundidade amostrada, indicando que o solo superficial é menos ácido, em função da diminuição do teor de carbono e aumento dos componentes de acidez, como teor de Al3+ e diminuição dos cátions nutricionais, como Ca, Mg e K.

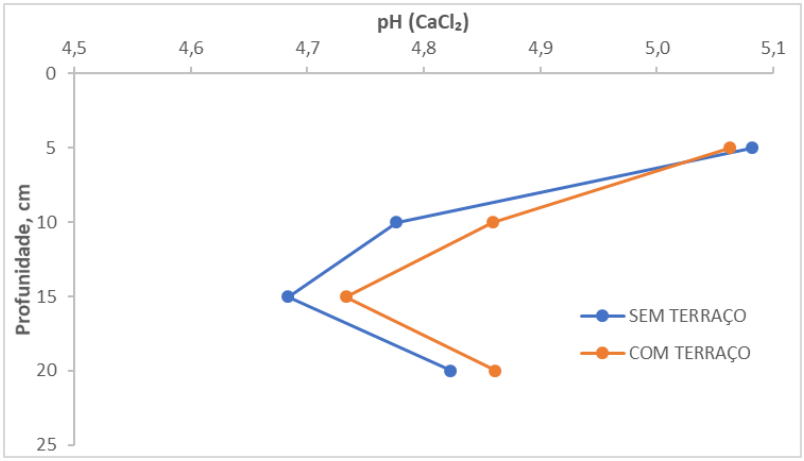


Figura 1. Variação do pH $CaCl_2$ do solo em Função da Profundidade sem e com Terraço.

A Figura 2 mostra a relação entre a profundidade do solo e o índice SMP, utilizado para estimar a necessidade de calagem. Valores mais baixos indicam maior acidez, enquanto valores mais altos refletem menor acidez e maior disponibilidade de bases.

Na camada de 0-10 cm o pH SMP foi significativamente maior na parcela sem terraço, indicando acidez ligeiramente menor. Por outro lado, nas outras camadas do solo não houveram diferenças significativas no pH SMP entre as parcelas com e sem terraço. O uso de terraços pode levar ao maior acúmulo de água e manutenção da umidade no solo, que pode acelerar o processo de acidificação das camadas mais superficiais do solo, aumentando o H+Al e diminuindo o valor de PH-SMP. Como não houveram chuvas significativas até outubro de 2023, não ocorreram perdas significativas de nutrientes da parcela sem terraço que poderia acelerar a acidificação do solo. Os terraços ajudam a reduzir a remoção de partículas do solo, evitando a perda de elementos como cálcio e magnésio, que são essenciais para diminuir os efeitos negativos da acidez (Giarola *et al*., 2023). Dessa forma, solos protegidos por terraços tendem a manter melhor o equilíbrio químico, reduzindo a frequência da calagem.

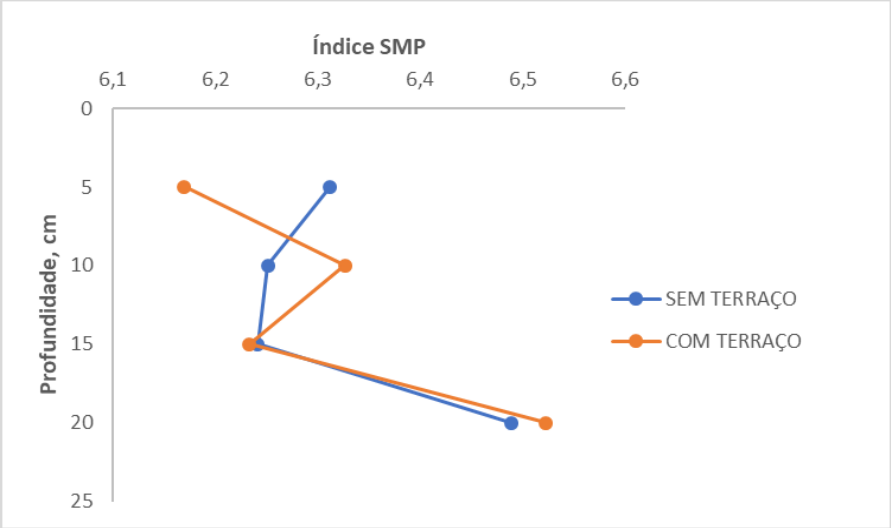


Figura 2. Variação do Índice SMP em Função da Profundidade do Solo sem e com Terraço.

CONCLUSÕES

O uso de terraceamento não interferiu significativamente na acidez do solo. Os resultados reforçam a importância do terraceamento na preservação da fertilidade do solo e no controle da acidez, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e produtiva.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação Araucária e o FAEP-SENAR, pelo fomento à pesquisa e ao financiamento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

BACKES, E. S. **Propriedades Físico - Hídricas do Solo e Produtividade de Culturas em Áreas Com e Sem Terraço**. 2023. 69f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Dois Vizinhos, 2023.

CANTERI, M. G., ALTHAUS, R. A., VIRGENS FILHO, J. S., GIGLIOTI, E. A., GODOY, C. V. SASM - Agri : Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft - Knott, Tukey e Duncan**. Revista Brasileira de Agrocomputação**, V.1, N.2, p.18-24. 2001.

GIAROLA, N. F. B *et al*. Atributos físicos do solo e erosão hídrica em solos cultivados. *In:* PELLEGRINI, A.; BARBOSA, G. M. C. (Ed). **Manejo e conservação de solo e água**. Curitiba: Editora SENAR AR/PR, 2023. 308 p.

JÚNIOR, A. B. A; NASCIMENTO, C. W. A; BARROS, F. M. R. Acidez Potencial Estimada pelo Método do pH SMP em Solos do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 39, n.3, p.767-773, 2015.

SOUSA, G. B. **Perdas de Solo, Água e Nutrientes por Erosão Hídrica em uma Vertente com Palha de Cana-de-Açúcar**. 2011. 73f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2011.

UTZIG, D. L. **Perdas de Nutrientes Associadas ao Escoamento e aos Sedimentos Erodidos em Encostas Sob Plantio Direto**. 2022. 61p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Pós Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DO TERRACEAMENTO AGRÍCOLA NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM SOLO ARENOSO

Jean Evens Alcinat[1*], Maria Cristina Longo Camargo [2], Amanda Eustachio Pereira[3], Francielli Gasparotto[4], Anny Rosi Mannigel[5]

[1]Estudante de Mestrado -UNICESUMAR - Maringá - PR, Brasil; [2] Estudante de Agronomia - UniCesumar Maringá - PR, Brasil [3] Estudante de Doutorado -UEL Londrina - PR, Brasil; [4] Professora Dra. do Curso de Agronomia na Unicesumar e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; [5]Professora Dra. do Curso de Agronomia, Unicesumar e Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. *E-mail: alcinajeanevens@gmail.com

RESUMO

Estudos sobre a influência das práticas conservacionistas na qualidade e fertilidade de solos arenosos em áreas agrícolas de cana-de-açúcar são importantes para o desenvolvimento de técnicas sustentáveis e manutenção da saúde do solo. A pesquisa foi conduzida em Presidente Castelo Branco-PR, em duas megaparcelas monitoradas pelo projeto Rede Agropesquisa, comparando o cultivo de cana-de-açúcar com e sem terraceamento. O solo foi amostrado em 32 pontos em cada megaparcela, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm, para a análise dos teores de fósforo (P), cujos resultados foram avaliados estatisticamente pelo teste de Scott-Knott. A análise revelou diferenças significativas nos teores de fósforo entre a camada superficial e as camadas mais profundas, mas o manejo com terraceamento não apresentou resultados distintos em relação ao manejo sem terraceamento.

PALAVRAS-CHAVE: atributos químicos do solo, conservação do solo, fertilidade do solo, qualidade do solo.

INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um assunto ainda muito recorrente e que deve continuar sendo muito estudado nos dias de hoje, já que a demanda por recursos provenientes do mesmo vem crescendo cada vez mais. Muitos fatores contribuem para a aceleração dessa degradação, dentre os quais pode-se citar, o uso excessivo do solo. Dessa forma, o empobrecimento e infertilidade dos solos devido à perda de nutrientes estão cada vez mais presentes. Dentre os elementos indispensáveis à vida das plantas, encontra-se o fósforo (P), sendo este, um nutriente obtido a partir de recursos não renováveis e finitos (Vilela *et al*., 2022).

A erosão hídrica é um dos principais processos de degradação do solo na agricultura brasileira, comprometendo a qualidade do solo e a sustentabilidade da produção agrícola. Portanto, a implementação de estratégias de manejo do solo e da água é essencial para minimizar perdas e preservar a capacidade produtiva dessas áreas (Machado e Wadt, 2023).

Os solos arenosos são amplamente considerados mais suscetíveis à degradação devido à sua baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Essa característica está associada aos baixos teores de argila e matéria orgânica, que influenciam diretamente na sua fertilidade e estabilidade estrutural (Fernandes *et al*., 2021). A adoção de práticas conservacionistas torna-se, portanto, essencial para mitigar os impactos ambientais e garantir a produtividade dessas terras.

A avaliação da qualidade do solo é um aspecto essencial para compreender seus limites e seu potencial, possibilitando identificar medidas adequadas para sua recuperação em caso de degradação (Brady e Weil, 2019). Indicadores químicos, como pH do solo, capacidade de troca catiônica, teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, são fundamentais para avaliar a fertilidade do solo e sua capacidade de suportar o crescimento das plantas (Cardoso *et al*., 2022).

A expansão da agricultura brasileira ultrapassou novas fronteiras agrícolas, abrangendo terras com potencial de intensificação e solos de diferentes texturas. Os solos arenosos, em particular, têm desempenhado papel crucial na produção de culturas como soja, milho, algodão, melão, manga e madeira celulósica, entre outros produtos (EMBRAPA, 2022). No município de Presidente Castelo Branco a cultura

predominante é a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), destacando a importância do manejo adequado desses solos para garantir a sustentabilidade da produção agrícola.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do terraceamento em megaparcelas sobre o teor de fósforo em solo cultivado com cana-de-açúcar no município de Presidente Castelo Branco -PR.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no município de Presidente Castelo Branco, localizado na Mesorregião Noroeste do Paraná, sob coordenadas geográficas 23º11’27” S e 52°06’0.16” O. A área experimental está inserida em um contexto edafoclimático caracterizado por solos predominantemente autóctones, de baixa fertilidade natural, textura média a arenosa e alta suscetibilidade à erosão. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho (Santos *et al*., 2018).

O clima da região é do tipo subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen (MAACK, 2002; NITSCHE *et al*., 2019), com precipitação média anual variando entre 1.200 e 1.600 mm e temperatura média anual de aproximadamente 20°C (NITSCHE *et al*., 2019).

A área experimental foi dividida em duas megaparcelas de 2,0 ha cada, onde ocorre o cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). A primeira megaparcela representa um sistema sem medidas mecânicas de controle de escoamento superficial (ausência de terraços), enquanto a segunda conta com a implementação de terraços agrícolas como prática conservacionista.

Amostras de solo foram coletadas em novembro de 2023 em 32 pontos georreferenciados dentro de cada megaparcela, distribuídos de maneira sistemática para abranger a variabilidade espacial. As coletas foram realizadas em 4 profundidades: 0-10 cm,10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm, totalizando 256 amostras. Todas as amostras foram devidamente, acondicionadas em embalagens adequadas e transportadas para análise laboratorial.

As determinações dos teores de fósforo (P) foram realizadas segundo os métodos estabelecidos pela Redeagro, conforme descrito por Pavan *et al*. (1992). Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de significância, permitindo a comparação entre os diferentes manejos e as quatro profundidades de amostragem dentro de cada manejo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para as plantas, desempenhando papel crucial em processos como fotossíntese, respiração celular e síntese de proteínas. Em solos arenosos, a capacidade de adsorção de P é reduzida, o que pode levar a uma maior disponibilidade desse nutriente para as plantas (Fontana *et al*., 2021).

A Tabela 1 apresenta os teores de fósforo em diferentes profundidades sob dois manejos: com terraço (CT) e sem terraço (ST) e os resultados da análise estatística. Observa-se que apenas na profundidade de 20-30 cm houve diferença significativa entre os manejos, com o CT apresentando maior teor de P. Esse resultado pode ser decorrente do revolvimento do solo que ocorreu para a execução dos terraços, pois conforme Nunes *et al*. (2011) estudos indicam que sistemas de cultivo convencional, ao revolver o solo, promovem maior redistribuição de nutrientes nas camadas subsuperficiais do solo, facilitando a movimentação de fósforo para camadas mais profundas.

A ausência de diferenças significativas nos teores de P entre os manejos com e sem terraceamento, exceto na profundidade de 20-30 cm, sugere que o terraceamento pode influenciar a redistribuição do fósforo em camadas mais profundas do solo. No entanto, a eficácia desta prática na melhoria da disponibilidade de P em profundidade parece ser limitada, possivelmente devido à baixa mobilidade intrínseca do fósforo no solo e à rápida adsorção pelos minerais presentes.

Tabela 1. Resultados da análise estatística dos teores de Fósforo (mg dm^{-3}) em diferentes profundidades sob dois manejos (com terraço e sem terraço)

Tratamentos	CT	ST	CV%
0-10cm	10,96 A a	8,96 A a	54,60
10-20cm	8,74 A b	6,34 A b	80,89
20-30cm	7,99 A b	5,03 B b	61,21
30-40cm	5,98 A b	4,06 A b	76,63
CV %	68,69	64,15	

*Médias seguidas letras maiúsculas distintas na linha e de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott

Verifica-se na Tabela 1 uma distribuição que reflete a tendência de maior concentração de fósforo nas camadas superficiais do solo, característica comum em solos tropicais devido à aplicação de fertilizantes na superfície e à baixa mobilidade do nutriente (Rheinheimer *et al*., 2000). Além disso, a textura arenosa do solo, reduz a capacidade de adsorção de P, resultando em maior disponibilidade deste nutriente nas camadas superficiais (Silva *et al*., 2016).

Nos manejos com e sem terraço, observou-se diferença significativa nos teores de fósforo entre a camada de 0-10 cm e as demais profundidades, indicando que a maior parte do fósforo está concentrada na camada superficial do solo. Estudos indicam que cerca de 65% do fósforo contido nos primeiros 40 cm de solos sob agricultura estão concentrados nos primeiros 10 cm, evidenciando a baixa mobilidade desse elemento em solos tropicais (Ferreira Filho *et al*., 2008).

O coeficiente de variação (CV%) dos teores de fósforo foi relativamente alto, especialmente entre 10-20 cm e 30-40 cm, indicando variação considerável nessas profundidades. Essa variabilidade pode ser atribuída a fatores como a heterogeneidade na distribuição de resíduos vegetais, práticas de manejo e características específicas do solo (Machado e Souza, 2012).

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande relevância econômica no estado do Paraná. No entanto, práticas agrícolas inadequadas podem levar à degradação do solo, afetando sua fertilidade e produtividade. O terraceamento tem sido recomendado como uma técnica eficaz para controlar a erosão e melhorar a infiltração de água, promovendo a conservação do solo e da água (IDR-Paraná, 2023). Estudos indicam que a adoção de práticas conservacionistas, como o terraceamento, pode melhorar significativamente os atributos químicos do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes essenciais para as culturas (Pereira e Thomaz, 2015).

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que, em solos arenosos, os teores de fósforo (P) concentram-se predominantemente nas camadas superficiais, com variações significativas entre a primeira profundidade analisada (0-10 cm) e as subsequentes. Observou-se que o manejo com terraceamento não resultou em diferenças significativas nos teores de P em comparação ao manejo sem terraceamento, exceto na profundidade de 20-30 cm, onde o tratamento com terraço apresentou um aumento nos níveis de P.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Rede Paranaense de Agropesquisa, à Fundação Araucária e a todos os parceiros acadêmicos e técnicos que, com sua dedicação e apoio financeiro, tornaram possível este estudo.

BIBLIOGRAFIA

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elements of the Nature and Properties of Soils**. 4. ed. Pearson, 2019.

CARDOSO, E. J. B. N. *et al*. Soil health: looking for suitable indicators**. Sustainable Agriculture Reviews**, v. 52, p. 85-102, 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos arenosos: desafios e oportunidades para a produção agrícola sustentável.** Brasília: EMBRAPA, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: 20 fev. 2025.

FERNANDES, R. B. *et al*. Soil physical and chemical properties as affected by management practices in sandy soils. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104807, 2021.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G. ; SANTOS, J. J. S. ; DONAGEMMA, G. K. ; SANTOS, O. A. Q. Phosphorus adsorption capacity in sandy textured soils with built fertility. **Revista Agrogeoambiental**, [S. l.], v. 13, n. 3, 2022.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-Paraná). **Manejo conservacionista do solo agrícola no Paraná.** Nota Técnica, 2023.

MAACK, Rodolfo. **Geografia física do estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Instituto Agronômico do Paraná, 2002.

MACHADO, P. L. O. A.; WADT, P. G. S. **Manejo e conservação do solo para a sustentabilidade agrícola**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 47, p. e021012, 2023.

NITSCHE, R. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. A.; PINTO, H. S. Clima do Paraná. *In:* SILVA, A. R.; RODRIGUES, R. A. F.; NITSCHE, R. P. (Org.). **Clima do Paraná. Curitiba**: IAPAR, 2019. p. 1-10.

NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G. ; GOEDERT, W. J. ; VIVALDI, L.J. . Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 877-888, 2011.

PAVAN, M. A. *et al*. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1992.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Atributos químicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva–PR. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 55, p. 186–194, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311915805_ATRIBUTOS_QUIMICOS_DO_SOLO_EM_AREAS_SOB_DIFERENTES_SISTEMAS_DE_USO_E_MANEJO_NO_MUNICIPIO_DE_RESERVA_-_PR. Acesso em: [data de acesso].

RHEINHEIMER, D. dos S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 715-722, 2000. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/CGKVc6BnjKqMGzf38RmCpDb/.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Leandro Henrique Curi dos; *et al*. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, G. F.; SOUZA, E. D. de; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; FLORES, J. P. C. Efeito da adsorção de fósforo em solo arenoso e argiloso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, n. 2, p. 1-10, 2016.

VILELA, G. **Influência de um sistema agroflorestal em consórcio com café na determinação da disponibilidade de fósforo no solo'** 10/03/2022 undefined f. Mestrado em Ciências Ambientais Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (SOROCABA), Sorocaba Biblioteca Depositária: Repositório Institucional da Unesp - http://hdl.handle.net/11449/234639

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DO TERRACEAMENTO NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO PERFIL DE SOLO

Matheus Bortolote[1*], Arian Martins Sartor[2], Alan Ribeiro da Silva[2], Carlos Alberto Casali[3], André Pellegrini[3]
[1] Discente do curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos
*matheusbortolote@alunos.utfpr.edu.br, [2] Discente do curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos; [3] Professor de solos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos.

RESUMO

A erosão hídrica em áreas agrícolas compromete a qualidade do solo, afetando seus atributos químicos e biológicos, especialmente em áreas sem terraços. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência do terraceamento na disponibilidade de P e K em diferentes camadas de um Nitossolo Vermelho sob plantio direto consolidado há 25 anos. Em outubro de 2023 na área experimental da UTFPR câmpus Dois Vizinhos, foram coletadas amostras em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) e analisadas quanto aos teores de P e K. Os resultados indicaram que não houve diferenças significativas nos teores de P e K entre as áreas com e sem terraço, sugerindo que o plantio direto consolidado pode ser eficaz na redução das perdas de nutrientes por erosão hídrica, mesmo sem a presença de terraços.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; perda de nutrientes; terraceamento; macronutrientes.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de processos erosivos em lavouras compromete a qualidade do solo, afetando seus atributos químicos e biológicos, especialmente em áreas sem mecanismos de controle, como terraços. A erosão hídrica promove o escoamento superficial, que remove não apenas solo, mas também nutrientes essenciais, matéria orgânica e microrganismos benéficos (Souza, 2011). Quando não controlado, esse processo leva à desagregação do solo e à remoção de sais minerais, elementos essenciais para sua fertilidade. Tal arrastamento, intensificado pelo aumento da declividade do terreno, pode causar danos irreparáveis em certos tipos de solo, comprometendo não apenas a fertilidade, mas também a conformação do terreno.

De acordo com Ceretta e Aita (2012), a degradação química do solo pode ocorrer tanto por processos naturais quanto por ações antrópicas, resultando na redução da capacidade produtiva do solo. Os principais processos de degradação química estão a perda de nutrientes, a redução da matéria orgânica, o desbalanço de nutrientes, a salinização, a acidificação e a poluição do solo. Dentre eles, a perda de nutrientes por erosão hídrica se destaca como um dos problemas mais graves, pois os nutrientes removidos podem ser transportados para mananciais hídricos, resultando em impactos ambientais significativos, como a eutrofização e contaminação de corpos hídricos.

Para mitigação desses problemas, surgem práticas conservacionistas como o terraceamento, uma técnica eficiente no controle da erosão hídrica. Essa prática, se baseia na construção de estruturas hidráulicas compostas por canais e camalhões, dispostas transversalmente à declividade do terreno. A técnica secciona o comprimento do declive, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e favorecendo a infiltração de água no solo, o que auxilia na retenção de nutrientes e minimiza as perdas de solo e matéria orgânica (Backes, 2023).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência do terraceamento na disponibilidade de fósforo (P) e potássio (K) em diferentes camadas do solo no Sudoeste do PR. A hipótese considera que a presença do terraço favorece a conservação da fertilidade do solo, reduzindo perdas por erosão hídrica e contribuindo para a sustentabilidade agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do paraná (UTFPR), em Dois Vizinhos, Sudoeste do PR, localizada em 25°42’3” de latitude Sul, 53°5’57” de longitude Oeste e altitude 510 metros. O clima na região foi classificado como Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida, com média superior 22 ºC no mês mais quente e inferior a 18 ºC no mais frio, com chuvas bem distribuídas nas quatro estações do ano (Álvarez *et al*., 2013), tendo precipitação acumulada de 1675 mm no período de outubro de 2023 e março de 2024. O solo é um NITOSSOLO VERMELHO (Embrapa, 2018), manejado sob sistema plantio direto (SPD) consolidado há 25 anos, com teores médios de argila, silte e areia de 0,70; 0,28 e 0,02 kg kg-1, respectivamente, e densidade de partícula de 2,89 g cm- ³ na camada de 0,00-0,15 m (GUGEL *et al*., 2017).

Em maio de 2019 foram instaladas duas “megaparcelas” com dimensão de 1,8 ha cada. A diferença entre as áreas está na presença de terraços como forma de controle mecânico do escoamento superficial de água (com terraços - CT) e a inexistência destes (sem terraços - ST). Os terraços foram construídos há pelo menos 20 anos e foram parcialmente removidos para a consolidação da megaparcela sem terraço. As áreas CT e ST apresentavam declividade média de 8,98% e 8,62%, respectivamente, e comprimento de rampa de 203,60 e 206,50 metros. Além disso, uma área de vegetação natural ao lado das parcelas foi utilizada como referência. O sistema de cultivo nas megaparcelas vêm sendo submetido a sucessões de culturas usuais da região sudoeste do Paraná, tais como, soja (*Glycine max* (L.) Meer.), milho (*Zea mays* L.) e aveia (*Avena sativa* L.).

Em outubro de 2023 foram coletadas amostras de solo estratificadas nas camadas de 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm, sob uma malha amostral de 32 pontos por parcela, com 24 metros equidistantes entre os pontos. Além disso, foram coletados 32 pontos distintos na área de vegetação nativa. Em seguida, foram levadas à estufa para secagem a 65 °C. Após a secagem, o solo foi triturado em um moinho de martelo, peneirado em uma malha de 2 mm de diâmetro para remoções de torrões e impurezas, e por fim armazenados novamente em sacos plásticos.

Posteriormente, no laboratório iniciou-se às análises químicas de Fósforo (P) e Potássio (K), através de extração por Mehlich-1 adaptado de (IAPAR, 1971). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, e os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa de análise estatística SASM-Agri (Canteri *et al*., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores disponíveis de K nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm respectivamente, foram de 234, 96, 60 e 44 mg kg^{-1} para a megaparcela sem terraço (ST), enquanto que para a parcela com terraço (CT) os teores disponíveis foram 229, 170, 95 e 55 mg kg^{-1}. Para o solo sob floresta nativa, utilizada como referência os teores foram de 170, 45, 36 e 29 mg kg^{-1} (Figura 1).

Já para o P, os teores disponíveis foram de 13.1; 6.9; 5.7 e 4.2 mg kg^{-1} na megaparcela ST, e 14.3; 6.3; 5.1 e 3.9 mg kg^{-1} na megaparcela CT, enquanto que para o solo sob floresta nativa os teores foram 6.2; 2.7; 1.6 e 1.9 mg kg^{-1} (Figura 2).

De acordo com a análise de médias pelo teste de Scott-Knott, para os ambos os nutrientes não houveram diferença significativa nos tratamentos ST e CT, somente havendo diferença significativa para o solo sob floresta nativa. Resultados semelhantes foram encontrados por (Utizig, 2022) sob moldes experimentais parecidos, com exceção do uso da floresta nativa.

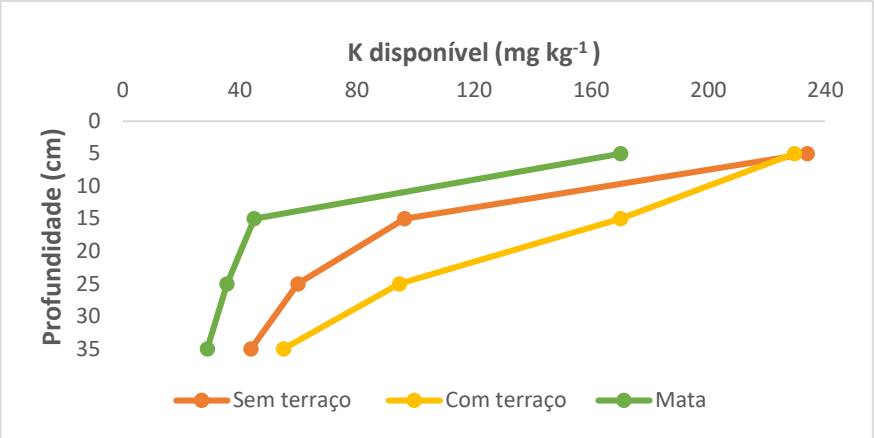


Figura1. Disponibilidade de K no perfil do solo.

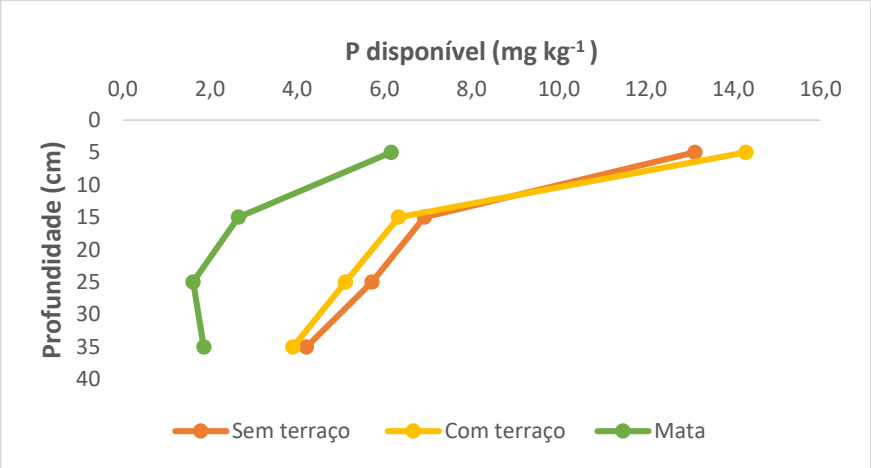


Figura 2. Disponibilidade de P no perfil do solo.

Embora as megaparcelas apresentem declividade média de 8,98 e 8,62% e comprimento de rampa de 203,60 e 206,50 metros, não houve perdas significativas de nutrientes por erosão hídrica. Este fato pode estar intimamente ligado às práticas de conservação de solo já adotadas na área, que está sob sistema de plantio direto consolidado a mais de 25 anos, e que pode ser corroborado por (Oliveira *et al*., 2012), que afirma que o plantio direto é uma técnica eficaz para mitigar a perda de solo por erosão hídrica. No entanto, para que essa redução seja mais acentuada, não se descarta a adoção de técnicas conservacionistas complementares para a diminuição da enxurrada.

A ausência de diferenças significativas entre as megaparcelas sugere que o plantio direto, por si só, pode ser uma prática eficaz na mitigação das perdas de nutrientes por erosão hídrica quando não houver elevadas precipitações pluviométricas. No entanto, a combinação de técnicas de manejo conservacionistas complementares, como o terraceamento, pode ser benéfica em áreas com maior declividade ou em solos mais suscetíveis à erosão. Dessa forma, a combinação de técnicas de manejo conservacionista pode ser essencial para garantir a sustentabilidade agrícola e a manutenção da fertilidade do solo em longo prazo.

CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que o terraceamento não influenciou significativamente na disponibilidade de fósforo e potássio no solo em comparação com a área sem terraço, possivelmente devido ao longo período de plantio direto consolidado na área experimental que amenizou os processos erosivos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação Araucária e o FAEP-SENAR pelo fomento à pesquisa e financiamento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C.A.; *et al*. Köppen's Climate Classification Map For Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Piracicaba, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BACKES, E. S. **Propriedades Físico - Hídricas do Solo e Produtividade de Culturas em Áreas Com e Sem Terraço**. 2023. 69f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Dois Vizinhos, 2023.

BATTISTI, F. **Implantação e monitoramento preliminar de microbacia hidrográfica rural no Sudoeste do Paraná**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós- Graduação em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2020.

CANTERI, M. G., ALTHAUS, R. A., VIRGENS FILHO, J. S., GIGLIOTI, E. A., GODOY, C. V. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott - Knott, Tukey e Duncan**. Revista Brasileira de Agrocomputação**, V.1, N.2, p.18-24. 2001.

CERETTA, Carlos Alberto; AITA, Celso. **Manejo e conservação do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/solos/sibcs. Acesso em: 03 mar. 2025.

GUGEL, R. F. *et al*. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de uso na bacia hidrográfica escola da UTFPR-DV. *In:* Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos**... Londrina: UTFPR, 2017.

OLIVEIRA, R. G. J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. De Fatima.; BARBOSA, G. M. C.; FILHO, J. T. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim de geografia**, Paraná, v. 30, n. 3, p. 91-98, 2012.

SOUSA, G. B. **Perdas de Solo, Água e Nutrientes por Erosão Hídrica em uma Vertente com Palha de Cana-de-Açúcar**. 2011. 73f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2011.

UTZIG, D. L. **Perdas de Nutrientes Associadas ao Escoamento e aos Sedimentos Erodidos em Encostas Sob Plantio Direto**. 2022. 61p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Pós Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DO TERRACEAMENTO NO ACÚMULO DE POTÁSSIO EM LATOSSOLO BRUNO

Renata Alessandra Martins Borecki[1*], Leonardo Catapan[2], Edson Lucas Camilo[3], Leandro Rampim[4], Marcelo Marques Lopes Müller[4]

[1]Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), [2]Graduando em Agronomia (UNICENTRO), [3]Pós-Doc (UNICENTRO) bolsista do Projeto NAPI-PROSOLO, [4]Professor do Departamento de Agronomia e do PPGA (UNICENTRO). *boreckirenata12@gmail.com.

RESUMO

O sistema plantio direto (SPD) isolado não controla eficazmente a erosão, sendo necessárias outras práticas conservacionistas. O escoamento superficial transporta nutrientes, sobretudo os que também são aplicados a lanço sobre o solo, como potássio (K^+). Desde 2019, três manejos em SPD são avaliados em Guarapuava-PR: sem terraços (ST) + cultivo em desnível + pousio outonal; com cultivo em nível + plantas de cobertura outonais (Boas Práticas de Manejo - BPM); com cultivo em nível + terraceamento (CT). Em 2024, coletaram-se amostras de solo para análise (31 pontos macroparcela^{-1}). A macroparcela CT apresentou maiores teores de K^+ nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, mesmo recebendo a mesma dose de K^+ que as demais. Esse acúmulo de K^+ no solo é indício de menores perdas por erosão com o terraceamento, viabilizando menor dose de K^+ para manutenção da fertilidade e da produtividade, e redução de custos.

PALAVRAS-CHAVE: erosão hídrica; terraços, perda de nutrientes.

INTRODUÇÃO

Potássio é um íon (K^+) solúvel que não faz parte de nenhuma estrutura orgânica estável nas plantas, e que no solo fica adsorvido (trocável) ou fixado nos colóides, ou permanece na solução do solo. Ele se move pelos macroporos do solo junto com o movimento vertical descendente da água, e isso pode levar a perdas por lixiviação (Murrell *et al*., 2021; Novais *et al*., 2007). Trabalhos demonstraram que o K^+ também é suscetível a perdas por escoamento superficial, tanto na forma particulada (K-trocável e K-fixado) quanto na forma dissolvida (K-solução), o que reduz a eficiência de uso dos fertilizantes potássicos aplicados (Melo *et al*., 2024; Utzig *et al*., 2023; Wolka *et al*., 2021), sobretudo quando a adubação é feita a lanço na superfície do solo, algo cada vez mais comum quando se visa eficiência operacional na mecanização.

A exploração intensiva dos solos agrícolas, sem a adoção de práticas conservacionistas, promoveu e ainda promove degradação química, física e biológica. Buscando reduzir a degradação do solo, sobretudo pela erosão hídrica, o sistema plantio direto (SPD) tem sido amplamente utilizado como sistema de produção conservacionista, porém o manejo apenas com SPD não é suficiente para mitigar todos os processos erosivos, de forma que práticas conservacionistas como plantas de cobertura (PC) e terraceamento devem ser associadas (Bertol *et al*., 2019). Embora o SPD controle o salpicamento, há indícios de que na ausência de terraços o sistema não controle eficazmente o escoamento superficial (Cassol; Denardin; Kochhann, 2007; Fuentes-Guevara *et al*., 2024; Utzig *et al*., 2023).

Considerando a suscetibilidade do K^+ a perdas por escoamento superficial, e a adoção de práticas conservacionistas associadas ao SPD, supõe-se que áreas com maior controle do escoamento superficial podem apresentar menores perdas de K^+, favorecendo o acúmulo do nutriente no solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o SPD com três conjuntos de práticas conservacionistas, visando investigar os efeitos ao longo do tempo sobre atributos químicos de fertilidade do solo, com foco no teor de K^+.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no distrito de Entre Rios, Guarapuava-PR (25º 33’ S, 51º29’ O, 1.124 m), onde o solo predominante é o Latossolo Bruno. O clima é Cfb - subtropical mesotérmico úmido, com temperatura média anual de 17ºC, verões frescos, chuvas bem distribuídas e ocorrência de geadas (Alvares *et al*., 2013),

sendo a precipitação média anual (1976 a 2019) de 1.919 mm (IDR, 2023). Em 2019, no âmbito do atual NAPI-PROSOLO, foram delineadas três macroparcelas (1,1 ha cada), consistindo em três manejo sob SPD: sem terraços (ST), boas práticas de manejo (BPM) e com terraços (CT). Em ST preservou-se a realidade regional no padrão do produtor, sem terraços para trafegar com as máquinas em desnível. Em BPM, adicionou-se o cultivo de plantas de cobertura (PC) no outono e cultivou-se em nível. Em CT, foram adicionados terraços e cultivou-se em nível. Calagem, adubação, tratos culturais e rotação de culturas comerciais foram idênticos nas parcelas ao longo dos anos, à exceção da adição do cultivo de plantas de cobertura na parcela BPM.

A primeira coleta de solo (trado calador) foi feita na implantação das parcelas em 2019, caracterizando o solo nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade. Em 2024, o solo foi coletado novamente nos 31 pontos parcela^{-1} do grid amostral, com maior estratificação da camada diagnóstica (0-20 cm) para culturas anuais: 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. As amostras foram levadas ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), sendo analisado quanto aos teores de potássio (K^+) extraível por Mehlich-1, com determinação em fotômetro de chama (Embrapa, 2009).

Os dados foram tabulados e submetidos à análise estatística descritiva, com auxílio do *software* Microsoft Excel, calculando-se médias e intervalos de confiança a 95% de confiabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2024, os teores médios de K^+ ($cmol_c\ dm^{-3}$) na camada de 0-5 cm foram 0,65 (ST), 0,51 (BPM) e 0,72 (CT), sendo estatisticamente equivalente na comparação entre ST e CT, e ambos superiores a BPM (figura 1).

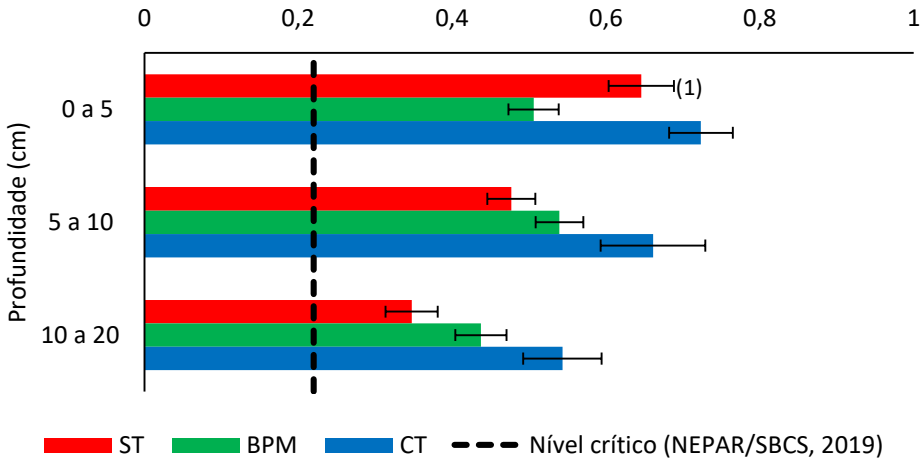


Figura 1. Teor de potássio ($cmol_c\ dm^{-3}$) de um Latossolo Bruno em 2024, submetido a sistema plantio direto com diferentes práticas conservacionistas em 2019: sem terraços (ST); boas práticas de manejo (BPM) e com terraços (CT). (1)Intervalo de confiança a 95% de confiabilidade ($\alpha = 0,05$).

Na camada de 5-10 cm, CT apresentou o maior teor médio de potássio (0,66 $cmol_c\ dm^{-3}$), enquanto BPM (0,54 $cmol_c\ dm^{-3}$) e ST (0,48 $cmol_c\ dm^{-3}$) se equivaleram em teor inferior. Os teores em BPM e CT foram similares entre as camadas de 0-5 e 5-10 cm, mas ST apresentou queda significativa em profundidade, demonstrando haver concentração do K^+ no solo da superfície, e CT apresentou novamente maior teor superando BPM e ST. Na camada de 10-20 cm, CT apresentou teor (0,54 $cmol_c\ dm^{-3}$) maior que BPM (0,44 $cmol_c\ dm^{-3}$), e este superou o teor observado em ST (0,35 $cmol_c\ dm^{-3}$), havendo queda dos teores de BPM e CT da camada de 5-10 cm para a camada de 10-20 cm, e queda mais acentuada em ST.

Os manejos apresentaram aumento dos teores de K^+ em todas as camadas em relação a 2019 (figura 2), o que pode ser atribuído às adubações realizadas em cada cultivo, que visaram alto nível de produtividade conforme os padrões dento da área de abrangência da Cooperativa Agrária e das áreas experimentais da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), parceira na condução das lavouras. Porém, a parcela CT demonstrou teores de K^+ maiores em todas as profundidades desde 2021, efeito que se confirmou em 2024.

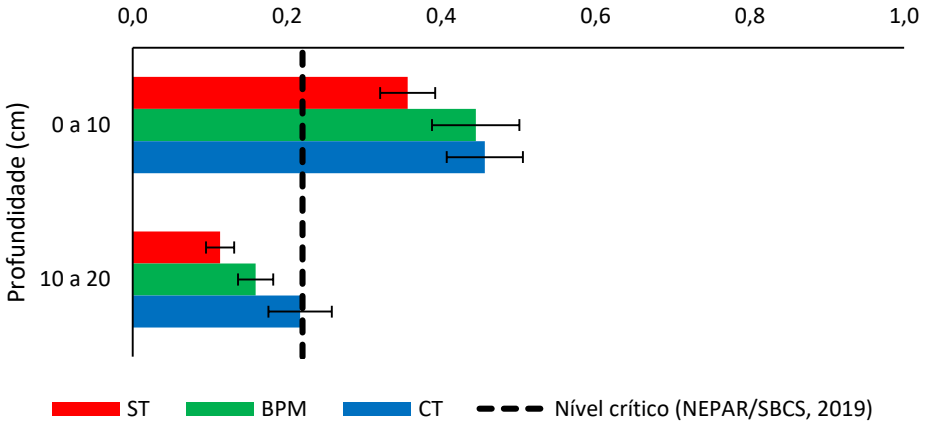


Figura 2. Teor de potássio ($cmol_c\ dm^{-3}$) de um Latossolo Bruno em três macroparcelas (1,1 ha) submetidas a sistema plantio direto com diferentes práticas conservacionistas: sem terraços (ST); boas práticas de manejo (BPM) e com terraços (CT), no ano inicial (2019). [(1)]Intervalo de confiança a 95% de confiabilidade (α = 0,05).

O terraceamento não adiciona K^+ ao solo. Assim, os maiores teores observados em CT, provavelmente, refletem menores perdas por erosão devido ao menor escoamento superficial observado nos eventos de chuva volumosa (outro estudo). Wolka *et al*. (2021) observaram que grande parte do solo perdido por erosão consiste em partículas pequenas e material suspenso, que contêm elevados teores de K^+ trocável, de forma que o escoamento pode ser responsável por até 67% das perdas de K^+. Segundo Utzig *et al*. (2023), há grande potencial de perda de Ca^{2+} e K^+ na fração dissolvida do escoamento, podendo comprometer a eficiência de fertilizantes aplicados em áreas sem manejo conservacionista.

Melo *et al*. (2024), avaliando o impacto de diferentes sistemas de manejo na perda de nutrientes por escoamento superficial com chuva simulada, observaram concentrações de K^+ no escoamento superficial equivalentes a 115,98 mg L^{-1} em solo sob pousio e 115,86 mg L^{-1} em plantio convencional de arroz irrigado, perdas significativamente maiores que as observadas em arroz sob SPD (37,59 mg L^{-1} de K^+), tanto na forma dissolvida quanto na forma particulada. Nesse caso, o escoamento foi menor sob SPD, provando ser o ponto chave a ser controlado para diminuir as perdas.

Fica evidente, portanto, que o controle do escoamento superficial, por meio de práticas conservacionistas, tem impacto direto na mitigação das perdas de nutrientes como K^+. Nesse sentido, a associação de SPD e terraceamento, eficiente para conter a erosão, pode mitigar a degradação química dos solos promovida por chuvas de grande magnitude, aumentando a eficiência de uso dos fertilizantes, e possibilitando economia ao produtor por viabilizar doses menores para manutenção da fertilidade dos solos.

CONCLUSÕES

O SPD com terraceamento pode beneficiar o solo com acúmulo de K^+ em superfície e subsuperfície em relação ao SPD com plantas de cobertura, e sobretudo em relação ao SPD sem terraceamento, o qual apresentou os menores teores de K^+ em subsuperfície, portanto, com maior estratificação dos teores do nutriente. O maior acúmulo de K^+ no solo com terraceamento demonstra o potencial da prática para mitigar

as perdas de K^+ e, consequentemente, aumentar a eficiência de uso do nutriente, com possibilidade de diminuição comparativa de doses de fertilizantes e economia para os produtores.

AGRADECIMENTOS

À FAPA – Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, pela parceria na condução das lavouras no campo, à Cooperativa Agrária, pelo apoio junto aos produtores. À CAPES, CNPq, Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA), e SENAR/FAEP-PR, pelo fomento.

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BERTOL, O. J. *et al*. (eds.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o estado do Paraná**. 1ª ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – NEPAR-SBCS. 2019. 325 p.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema plantio direto: evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. *In:* CERETTA, C. A., SILVA, L. S., REICHERT, J. M. (eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

FUENTES-GUEVARA, M. D. *et al*. Mixture of winter cover crops reduces surface runoff and sediment production under no-tillage system for Oxisols. **Land Degradation & Development**, v. 35, n. 6, p. 2145-2156, 2024.

IDR. **Dados Meteorológicos Históricos e Atuais**. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Dados-Meteorologicos-Historicos-e-Atuais>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MELO, T. V. de *et al*. Loss of nitrogen, phosphorus, and potassium through surface runoff under simulated rainfall in different soil management systems. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 29, p. e20230071, 2024.

NEPAR-SBCS – Núcleo Estadual do Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná.** 2. Ed. Curitiba: Núcleo Estadual do Paraná, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 289, 2019.

NOVAIS, R. F *et al*. (eds.). **Fertilidade do solo.** 1ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

MURRELL, T. S. *et al*. (eds.). **Improving potassium recommendations for agricultural crops**. Cham: Springer Nature, 2021. 455 p.

UTZIG, D. L. *et al*. Nutrient transport in surface runoff and sediment yield on macroplots and zero-order catchments under no-tillage. **Catena**, v. 231, p. 107333, 2023.

WOLKA, K. *et al*. Soil and water conservation management on hill slopes in Southwest Ethiopia. I. Effects of soil bunds on surface runoff, erosion and loss of nutrients. **Science of The Total Environment**, v. 757, p. 142877, 2021.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERDAS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL DE GUARAPUAVA, NO CENTRO-SUL PARANAENSE

Marcelo Marques Lopes Müller[1*], Edson Lucas Camilo[2], Renata Alessandra Martins Borecki[3], Leandro Rampim[1], Cristiano Andre Pott[1]

[1]Professor da Área de Solos do Departamento de Agronomia (DEAGRO) e Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO). *mmuller@unicentro.br. [2]Pós-doutorando, PPGA-UNICENTRO, bolsista do NAPI-PROSOLO. [2]Mestranda, PPGA-UNICENTRO, bolsista do NAPI-PROSOLO.

RESUMO

Erosão causa perdas de água, solo e nutrientes mesmo em sistema plantio direto (SPD), sobretudo na ausência de outras práticas conservacionistas. Nitrogênio e fósforo eutrofizam as águas, mas outros nutrientes também impactam a qualidade da água e eficiência de uso dos nutrientes. Nesse estudo, avaliaram-se: teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na água do rio de uma bacia hidrográfica sob SPD sem terraços, vazão do rio (Q), precipitação (PCP), perdas dos nutrientes na safra de inverno (2023), e perdas monetárias (PM$) relacionadas. Teores mais elevados de Ca (2,12 - 1,95 mg L^{-1}) e Mg (2,31 - 1,88 mg L^{-1}) ocorreram em meses de maior PCP, sob maior escoamento superficial. Com perdas de 14,68 e 16,67 kg ha^{-1} de Ca e Mg, respectivamente, estimou-se PM$ de R$ 33,12 ha^{-1} para reposição com calcário dolomítico. Práticas conservacionistas permanecem importantes em áreas sob SPD, para reduzir perdas e melhorar sustentabilidade e economicidade.

PALAVRAS-CHAVE: escoamento superficial, perdas de sedimentos, perdas de nutrientes, poluição da água.

INTRODUÇÃO

Apesar da ampla adoção do sistema plantio direto (SPD) no Brasil, a erosão hídrica persiste entre as principais causas da degradação dos solos, com expressivas perdas de sedimentos e nutrientes. Ao longo dos anos sob esse sistema, houve abandono de práticas de conservação de solo e água, por se acreditar que a prática isolada da semeadura direta seria eficiente no controle de processos erosivos. Porém, quando ocorrem chuvas volumosas e o escoamento superficial acontece, fica evidente a necessidade de adoção de outras práticas conservacionistas para reduzir perdas de água e nutrientes (Silva *et al*., 2024).

Dentre os nutrientes perdidos, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são negligenciados por apresentarem baixo potencial poluidor e fontes baratas de reposição em comparação a nitrogênio (N) e fósforo (P), que se destacam devido à eutrofização das águas e fontes (fertilizantes) mais caras (Dechen *et al*., 2015). Contudo, Ca e Mg desempenham papéis essenciais em processos fisiológicos das plantas, e sua deficiência pode levar a reduções significativas de produtividade (MARSCHNER; MARSCHNER, 2012). A degradação da fertilidade do solo causada pela erosão hídrica afeta a sustentabilidade dos agroecossistemas e a economia agrícola.

Com esse contexto, no presente trabalho foram avaliados teores médios diários, perdas (matéria) e perdas monetárias de Ca e Mg em uma bacia hidrográfica (BH) rural manejada sob SPD sem terraços, durante a safra de inverno de 2023.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Guarapuava, Paraná (25º 33’ S, 51º29’ O, 1.124 m), sob clima Cfb, com média anual de temperatura de 17ºC, verões frescos, chuvas bem distribuídas (Alvares *et al*., 2013). A precipitação média anual (1976 a 2019) é de 1.919 mm (IDR, 2023). Com área de contribuição de 118,8 ha, a BH possui 13 talhões sob SPD e área de preservação permanente (vegetação ripária) no entorno do rio. Sob predomínio de Latossolos Brunos, a área possui solos muito argilosos. Uma amostra composta para caracterização da área revelou teores de areia, silte e argila (0-0,2 m) de 49,5, 180,5 e 770 g kg^{-1} de solo, respectivamente.

Entre julho e novembro de 2023, foi feito o monitoramento (intervalo de 5 minutos) de precipitação (PCP) e vazão (Q) do rio por meio de estação hidrosedimentológica e calha *Parshall* instaladas no exutório da BH, sendo calha de 36", com K e n de 7.855,2 e 1,566, respectivamente. Volume e intensidade das precipitações (PCP) foram medidos com pluviógrafo, conectado a *datalogger*. A vazão média (Q_{med}) do rio foi calculada com base nos valores do nível de água, obtido pelo linígrafo instalado na calha (Equação 1):

$$Q = K \times H^n \quad \textbf{(1)}$$

Onde: Q= vazão volumétrica em $m^3\ s^{-1}$.

H= altura da linha da água na entrada da calha, expressa em metros.

K e n= constantes em função das dimensões da calha e ajuste de unidade.

Para o hidrograma e o hietograma, foram utilizados dados de monitoramento com resolução de 5 minutos. Com os dados de vazão durante o dia, calculou-se a Q_{med} diária do rio, enquanto a PCP diária foi calculada somando-se todos os valores de PCP registrados em cada dia.

Amostras de água do rio foram coletas diariamente com amostrador automático de sedimentos (ISCO® 3700) instalado na calha Parshall, sendo depositadas em garrafas no equipamento e semanalmente enviadas ao laboratório para análise, por meio de digestão nitroperclórica (HNO_3 + $HClO_4$, 4:1) e determinação de teores totais de Ca e Mg com espectrômetro de absorção atômica (comprimentos de onda de 422,6 nm/Ca e 202,6 nm/Mg). Para estimar perdas totais dos nutrientes, as concentrações das amostras foram interpoladas com resolução de 5 minutos, coincidindo com os dados de Q medidos. As perdas dos nutrientes (PN) mensais foram estimadas integrando o produto da descarga e a concentração de cada nutriente ao longo do tempo (Equação 2)

$$PN = \int_{t1}^{t2} QtCtdt \quad \textbf{(2)}$$

Onde PN é a perda de nutriente em um determinado período (*t2-t1*), *Qt* é a descarga no tempo *t*, *Ct* é a concentração de nutrientes no tempo *t* e *dt* é o intervalo de tempo de duração infinitesimal.

A perda monetária dos nutrientes (Equação 3) foi calculada utilizando como base os valores de R$ 201,46 Mg^{-1} para calcário dolomítico (30% CaO e 17% MgO) (CONAB, 2023).

$$PM\$ = \frac{PN}{(\frac{TF}{100})} * V * A \quad \textbf{(3)}$$

Onde P*M$* é a perda monetária de cada nutriente (R$ ha), *PN* é a perda de nutriente no período (Mg^{-1}), TF é a quantidade (%) do nutriente na fonte, *V* é o valor da Mg^{-1} da fonte (R$ Mg^{-1}) e *A* é a área de contribuição da bacia hidrográfica (ha^{-1}). Para definir a dose de calcário dolomítico utilizada nos cálculos de perda monetária, foi considerada a dose suficiente para repor a maior perda mensal estimada, de Ca ou de Mg. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo expressas médias mensais de teores ± erro padrão. A construção dos gráficos foi realizada no software *SigmaPlot* 12.0 (Sigmaplot, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de PCP e de Q_{med} do rio (fig. 1) revelaram maiores valores de Qmed em julho, outubro e novembro de 2023, coincidindo com PCPs mais volumosas. PCPs mais elevadas e frequentes em outubro e novembro deveram-se ao fenômeno climático *El niño* (Penalba e Rivera, 2016), ativo na região em 2023.

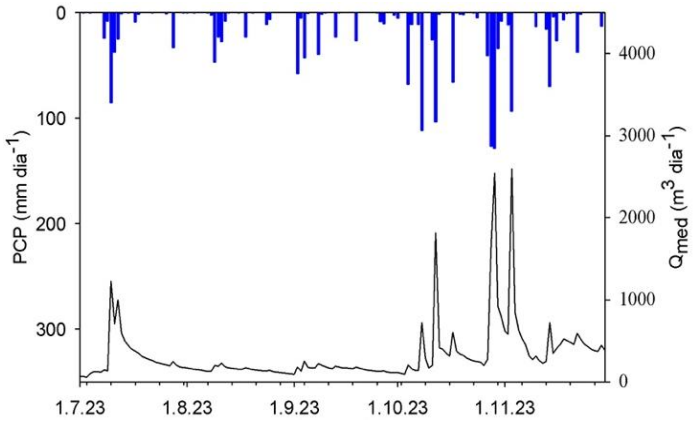


Figura 1. Hidrograma e hietograma do rio entre julho e novembro (safra invernal). Guarapuava-PR, 2023.

Nos meses com mais PCP, as concentrações de Ca e Mg se elevaram. Os maiores teores de Ca (fig. 2a) foram obtidos em julho e novembro, de 2,12 e 1,95 mg L^{-1}, respectivamente, nos estádios iniciais da cevada (Julho) e na fase de senescência próximo à colheita (novembro), portanto, com menor cobertura do solo e maior escoamento superficial. Com o fechamento das entrelinhas da cultura em agosto e menores chuvas em agosto e setembro, os teores foram os menores no período, 0,97 e 0,77 mg L^{-1}, e combinados à menor Q_{med} do rio (Fig. 1) resultaram nas menores perdas (Fig. 2a). Em outubro, o teor de Ca no rio subiu para 1,18 mg L^{-1}, mas a perda de Ca se elevou mais, devido ao grande aumento da Q_{med}. Os teores ficaram abaixo da média global de 3,76 mg L^{-1} de Ca obtida por Weyhenmeyer *et al.* (2019) para amostras de água de 57 países. Os autores relataram menor teor de Ca em regiões subtropicais da América do Sul, região desse estudo.

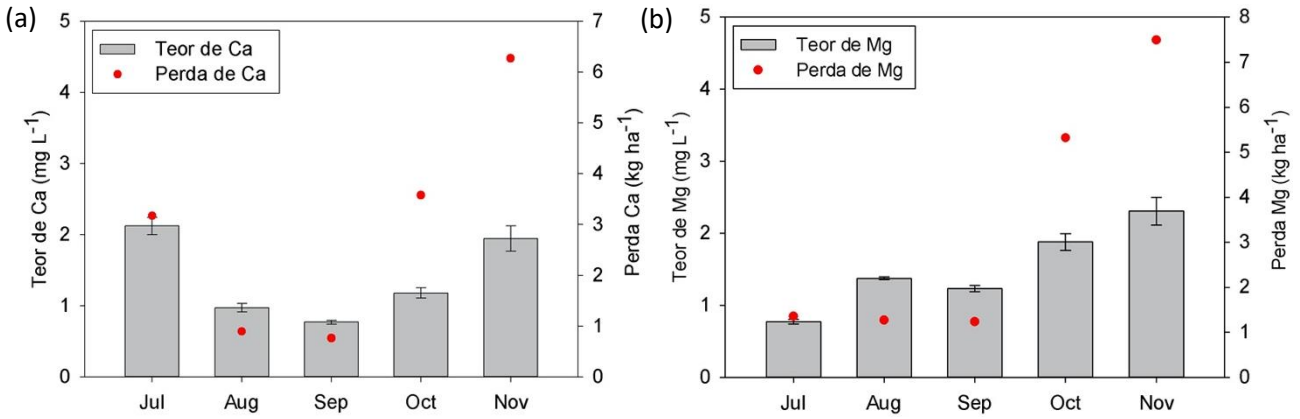


Figura 2. Teores médios de Ca e perda estimada de Ca (a), e teores médios de Mg e perda estimada de Mg (b). Guarapuava-PR, 2023. *Barras representam o erro padrão da média.

Os teores de Mg (Fig. 2b) foram mais elevados apenas em outubro e novembro, de 2,31 e 1,88 mg L^{-1}, coincidindo com maiores PCPs e final de ciclo da cevada, sendo o teor mais baixo observado no mês de julho, apenas 0,77 mg L^{-1} de Mg, diferentemente de Ca que também apresentou teor elevado na água do rio em julho. Esse fato pode indicar presença de Ca e ausência de Mg nos fertilizantes (NPK) utilizados na semeadura da cevada, pois a cobertura do solo era baixa e a PCP foi elevada nos estádios iniciais da cultura (julho). Em uma BH sob cultivo mínimo e cultivo convencional para lavouras de soja e tabaco, e tendo áreas de pastagem e reflorestamento, Barros *et al*. (2020) obtiveram teor médio de Mg de 2,45 mg L^{-1}, semelhante aos teores do presente estudo, mesmo com diferenças de uso e manejo do solo, e o mesmo foi observado por Utzig *et al*. (2023) para teores de Ca e Mg dissolvidos e em sedimentos suspensos sob plantio convencional e SPD.

As perdas mensais de Ca ficaram entre 0,76 e 6,27 kg ha^{-1} (Fig. 2a) com maiores perdas em novembro, outubro e julho, superiores a 3 kg ha^{-1}. Considerando os 5 meses avaliados, a perda total foi estimada em 14,68 kg ha^{-1} de Ca. As perdas de Mg variaram de 1,23 a 7,49 kg ha^{-1}, e maiores perdas foram registradas em novembro e outubro, superiores a 5 kg ha^{-1}, somando 16,67 kg ha^{-1} Mg para o período total. Avaliando diferentes níveis de cobertura do solo, Dechen *et al.* (2015) observaram perdas entre 6,26 e 22,46 kg ha^{-1} ano^{-1} de Ca e 1,84 a 5,74 kg ha^{-1} ano^{-1} para Mg, portanto, perdas maiores de Ca e similares de Mg em relação ao presente estudo.

As PM$ de Ca variaram de R$ 0,72 a R$ 5,89 ha^{-1} $mês^{-1}$, correspondendo a aplicações de 3,56 a 29,26 kg ha^{-1} de calcário dolomítico para reposição, enquanto as PM$ de Mg variaram de R$ 2,42 a R$ 14,74 ha^{-1} $mês^{-1}$, relativas à aplicação de 12,01 a 73,18 kg ha^{-1} de calcário dolomítico. Tal fonte foi escolhida por apresentar teores elevados de Ca e Mg a preços baixos em comparação aos fertilizantes, sendo as principais fontes desses nutrientes para o solo agrícola no Brasil. A PM$ total considerando Ca e Mg no período resultou em R$ 33,12 ha^{-1}, relativa a 216,40 kg de calcário dolomítico para repor as quantidades de Ca e Mg perdidas. Na BH de 118,8 ha, a PM$ total gerou custo de R$3.934,66, impactando o custeio das lavouras.

CONCLUSÕES

Os teores de Ca na água do rio ocorreram em julho e novembro, e os maiores teores de Mg foram registrados em outubro e novembro, coincidindo com precipitações volumosas e/ou menor cobertura do solo pela cultura de inverno. As perdas se concentraram em julho (Ca), outubro e novembro (Ca e Mg), diretamente relacionadas à combinação entre teores na água e precipitações intensas que elevaram a Q_{med} do rio, gerando PM$s que impactam o custeio das lavouras. Os resultados reforçam a necessidade de práticas conservacionistas como terraceamento e manutenção de cobertura vegetal, para reduzir o escoamento superficial e a erosão hídrica, minimizando perdas de nutrientes e custos com reposição. A adoção de práticas conservacionistas pode melhorar a sustentabilidade econômica e ambiental, mesmo BH sob SPD.

AGRADECIMENTOS

À equipe dos Laboratórios de Solos e Nutrição de Plantas e de Física, Manejo e Conservação do Solo da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, pelo apoio. Ao financiamento da Fundação Araucária, do SENAR-FAEP, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil). À concessão de bolsa pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil), e à parceria da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA).

BIBLIOGRAFIA

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BARROS, C. A. P.; TIECHER, T.; RAMON, R.; SANTOS, D. R. D.; BENDER, M. A.; EVRARD, O.; AYRAULT, S.; MINELLA, J. P. G. Investigating the relationships between chemical element concentrations and discharge to improve our understanding of their transport patterns in rural catchments under subtropical climate conditions. **Science of The Total Environment**, v. 748, p. 141345, 2020.

CONAB. **Insumos Agropecuários**. Disponível em: <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?d-6983528-p=3&uf=PR&anoFinal=&ano=2023&method=acaoListarConsulta&idSubGrupo=71&btnConsultar=Consultar&jcaptcha=5x6t&idGrupo=27>. Acesso em: 11 fev. 2025.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F.; MARIA, I. C. D. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, p. 224–233, 2015.

IDR. **Dados Meteorológicos Históricos e Atuais**. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Dados-Meteorologicos-Historicos-e-Atuais>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MARSCHNER, H.; MARSCHNER, P. (EDS.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. London; Waltham, MA: Elsevier/Academic Press, 2012

PENALBA, O. C.; RIVERA, J. A. Precipitation Response to El Niño/La Niña Events in Southern South America; Emphasis in Regional Drought Occurrences. **Advances in Geosciences**, v. 42, p. 1–14, 2016.

SIGMAPLOT. **SigmaPlot 12 for Windows Version 11.0. Statistics for User's Guide.** Chicago. Systat Software Inc., 2012.

SILVA, C. M. da; BRITO, L. G. de; SILVA, M. M. A. da; CARVALHO, A. E. F. B. de; JÚNIOR, J. P. de A.; SILVA, M. F. da; SILVA, W. A. da; FILHO, J. P. Quantification of Water, Soil and Nutrient Losses in the Farinha River Basin, Carolina - MA, in the Cerrado Biome. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 5, p. e4078–e4078, 2024.

UTZIG, D. L.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; LONDERO, A. L.; DAMBROZ, A. B. P.; BARROS, C. A. P.; TIECHER, T.; KAISER, D. R. Nutrient transport in surface runoff and sediment yield on macroplots and zero-order catchments under no-tillage. **CATENA**, v. 231, p. 107333, 2023.

WEYHENMEYER, G. A.; HARTMANN, J.; HESSEN, D. O.; KOPÁČEK, J.; HEJZLAR, J.; JACQUET, S.; HAMILTON, S. K.; VERBURG, P.; LEACH, T. H.; SCHMID, M.; FLAIM, G.; NÕGES, T.; NÕGES, P.; WENTZKY, V. C.; ROGORA, M.; RUSAK, J. A.; KOSTEN, S.; PATERSON, A. M.; TEUBNER, K.; HIGGINS, S. N.; LAWRENCE, G.; KANGUR, K.; KOKORITE, I.; CERASINO, L.; FUNK, C.; HARVEY, R.; MOATAR, F.; DE WIT, H. A.; ZECHMEISTER, T. Widespread Diminishing Anthropogenic Effects on Calcium in Freshwaters. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 10450, 2019.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERDAS DE SOLO POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM LAVOURA SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRACEAMENTO

Paula Raquel Reffatti[1*], Alinne Bisolo[1], Bruna Thalia Silveira Sabino[1], Miriam Fernanda Rodrigues[2], André Pellegrini[3]

[1,] Mestranda do curso de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos * paulareffatti@alunos.utfpr.edu.br, [2]Professora do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria. [3]Professor do COENF, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos.

RESUMO

O terraceamento é uma das práticas conservacionistas que visa minimizar os efeitos de processos erosivos. Objetivou-se, com este estudo, quantificar as perdas de solo por escoamento superficial durante eventos de chuva de alta magnitude em duas lavouras sob plantio direto, uma com (CT) e outra sem terraços (CT), cada uma com 1,923 ha, ambas pareadas e localizadas na UTFPR, Dois Vizinhos-PR. As lavouras são cultivadas com culturas anuais (soja e cereais de inverno). Os eventos de chuva foram monitorados, de agosto de 2022 a dezembro de 2023, para avaliação do escoamento superficial e das perdas de solo. Quatro eventos de alta magnitude ocorreram, em decorrência dos fenômenos La Niña e El Niño. O escoamento superficial e as perdas de solo foram maiores na ST em comparação à CT. O terraceamento reduziu em, aproximadamente, 70% as perdas de solo por escoamento superficial na CT em comparação com a ST.

PALAVRAS-CHAVE: erosão hídrica; terraceamento; conservação do solo.

INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto, quando conduzido de forma adequada, é um sistema conservacionista que reduz a erosão do solo, a produção de sedimentos e a perda de água na paisagem e em bacias hidrográficas (Didoné *et al*., 2014). Devido à essa melhoria da qualidade do solo, o uso de práticas complementares de conservação tem sido reduzido ou abandonado (Caviglione *et al*., 2010). Contudo, os solos cultivados sob plantio direto, frequentemente, possuem maior estado de compactação (Suzuki *et al*., 2013). Com isso, ocorre a redução da macroporosidade, da condutividade hidráulica do solo saturado e da capacidade de infiltração de água no solo, o que aumenta o escoamento superficial e as perdas de solo, água e nutrientes devido à erosão em áreas sob plantio direto.

A compactação dessas áreas associadas à ocorrência de chuvas de alta magnitude causadas pelas alterações no clima e pela ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña tem aumentado ainda mais a magnitude do escoamento superficial e da erosão do solo (IDR-Paraná, 2023). Em decorrência disso, práticas complementares de conservação do solo e da água, como o terraceamento, são fundamentais para minimizar o escoamento superficial e o processo erosivo. O terraceamento visa direcionar e armazenar parte do escoamento das águas das chuvas, o que diminui as perdas de solo (Machado e Wadt, 2021) e de água.

Os terraços em áreas sob plantio direto são eficientes em reduzir o escoamento superficial (Londero *et al*., 2021a) e as perdas de solo (Londero *et al*., 2021b). Os terraços são barreiras mecânicas feitas de forma perpendicular ao desnível do terreno, para interceptar o escoamento superficial, o que diminui a velocidade, o volume e, por consequência, a energia cinética do escoamento. Isso aumenta o tempo de permanência da água nas lavouras e a possibilidade de infiltração da água no solo, o que diminui o escoamento superficial e a erosão (Pires e Souza, 2013). Mesmo com esses benefícios, as informações sobre os efeitos da presença ou da ausência de terraços em áreas conduzidas sob plantio direto ainda são incipientes e existe uma grande resistência por parte dos agricultores para a adoção dos terraços.

Objetivou-se, com este estudo, avaliar o efeito do terraceamento sobre as perdas de solo por escoamento superficial durante eventos de chuva de alta magnitude em duas lavouras sob plantio direto com e sem terraços, em Nitossolo Vermelho no Sudoeste do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas áreas situadas na Universidade Tecnológica Federal - Paraná, Campus Dois Vizinhos (UTFPR -DV), entre as coordenadas geográficas 25º 42' de latitude Sul e 53º 06' de longitude Oeste, na altitude de 509 m. Uma das áreas possui terraços (com terraços-CT) e na outra os terraços foram removidos (sem terraços-ST), cada uma delas com 1,923 ha. A CT possui 203,60 m de comprimento e declividade média de 8,98%, e a ST tem 206,50 m de comprimento e declividade média de 8,62%. O solo das lavouras é classificado como Nitossolo Vermelho. Na área, as lavouras são cultivadas com culturas anuais, como soja, milho, feijão e cereais de inverno, no sistema de plantio direto na palha.

O monitoramento da precipitação pluvial, do escoamento superficial e das perdas de solo foi realizado de agosto de 2022 a dezembro de 2023. O monitoramento foi realizado em seções de monitoramento localizadas no exútorio das lavouras e compostas por calhas do tipo H, equipadas com sensores de precipitação (pluviógrafo) e de nível (linígrafos). O monitoramento automático da chuva foi realizado por meio do pluviógrafo instalado entre as duas lavouras, com registro e armazenamento de dados em um *datalogger,* em intervalos de tempo fixos de 5 minutos. Além do pluviógrafo, três pluviômetros padrão Ville de Paris, instalados distribuídos próximo das lavouras foram utilizados para o monitoramento e correção da chuva registrada pelo pluviógrafo. O monitoramento do nível da água escoada na CT e na ST, para cálculo da vazão e posteriormente do escoamento superficial, foi realizado durante os eventos de chuva-vazão-sedimentos por meio de leituras diretas da lâmina de água em uma régua linimétrica instalada junto às calhas tipo H. A vazão foi calculada com base no nível da água medido e da equação de cada calha.

A amostragem da suspensão com água e sedimentos foi realizada manualmente na seção de monitoramento, durante o escoamento resultante dos eventos de chuva-vazão-sedimentos, juntamente com o monitoramento do nível da água. Essas amostras foram usadas para a quantificação da concentração de sedimentos em suspensão. A análise da concentração de sedimentos em suspensão foi realizada pelo método da evaporação (Shreve e Downs, 2005).

Os dados de chuva, vazão e concentração de sedimentos em suspensão dos eventos monitorados foram utilizados para obter as variáveis características da chuva (volume total (P), intensidade média da chuva ($I_{méd}$) e intensidade máxima da chuva em 30 minutos (I_{30})), do escoamento superficial (ES) e dos sedimentos (perda de solo (kg)) de cada evento. A energia cinética da chuva foi calculada conforme descrito por Ramon *et al*. (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quatro eventos de precipitação pluvial de alta magnitude ocorreram no período de agosto de 2022 a dezembro de 2023 (Tabela 1). O evento de precipitação pluvial ocorrido em 10 e 11/Out/2022 teve um acumulado de 208,0 mm e foi a segunda maior pluvial monitorada no período de estudo. O escoamento superficial deste evento foi 74% menor na CT, enquanto as perdas de solo foram 87% menores na CT em comparação com a ST. Esse comportamento pode ser atribuído à menor I_{30} e, também, à cobertura do solo proporcionada pelo cultivo de centeio que foi dessecado em 21/Out/2022 e rolado em 28/Out/2022.

O evento de precipitação pluvial ocorrido em 10/Jul/2023 teve menor volume acumulado em comparação ao evento anterior, de 124,7 mm, o que proporcionou os menores escoamento superficial e perdas de solo, na CT e na ST, em comparação aos demais eventos monitorados. O escoamento superficial

deste evento foi 64% menor na CT enquanto a perda de solo foi 78% maior na ST. Durante este evento, a cobertura do solo foi proporcionada pela cultura do trigo, que foi semeado em 03/Jun/2023.

Tabela 6. Variáveis de precipitação pluvial, escoamento superficial e perdas de solo dos eventos de alta magnitude ocorridos de agosto de 2022 a dezembro de 2023, em Dois Vizinhos-PR.

Evento	P (mm)	$I_{méd}$ (mm h^{-1})	I_{30} (mm h^{-1})	EI_{30} (MJ mm ha^{-1} h^{-1})	ES (mm)		PS (kg)	
					CT	ST	CT	ST
10 e 11/Out/2022	208,0	5,4	32,3	8819,7	2,4	9,3	3,26	25,61
10/Jul/2023	124,7	5,2	41,0	6881,1	2,2	4,5	1,61	7,57
28 e 29/Out/2023	302,7	12,2	45,4	19443,2	7,3	17,9	3,35	14,46
03/Nov/2023	99,2	8,6	52,4	7409,3	9,4	17,7	8,36	34,29

P = Volume total de chuva; $I_{méd}$ = Intensidade média da chuva; I_{30} = Intensidade máxima da chuva em 30 minutos; EI_{30} = Erosividade da chuva; ES = Lâmina de escoamento superficial; Ps = Perda de solo.

O evento ocorrido em 28 e 29/Out/2023 teve o maior volume acumulado de precipitação pluvial, com alta intensidade média e máxima em 30 minutos. Essa alta magnitude da precipitação pluvial proporcionou alta magnitude do escoamento superficial e das perdas de solo, principalmente na ST que foram 59% e 77% maiores do que na CT, respectivamente. A cobertura do solo nas lavouras foi proporcionada pela resteva do trigo colhido em 26/Set/2023. Esse evento resultou em alagamentos no município de Dois Vizinhos-PR e na região (Pereira, 2023).

O evento ocorrido em 03/Nov/2023 teve o menor volume acumulado de precipitação pluvial (99,2 mm) em comparação aos demais eventos. Contudo, esse evento teve a maior I_{30}, o que proporcionou alta magnitude do escoamento superficial e das perdas de solo em ambas as lavouras. O escoamento superficial foi 46% menor e as perdas de solo foram 75% menores na CT do que na ST. Esse comportamento pode ser atribuído à alta intensidade da chuva e à alta umidade do solo antecedente a esse evento proporcionada pelo evento de 28 e 29/Out/2023, uma vez que a cobertura do solo nas lavouras ainda era proporcionada pela resteva do trigo. Esse evento do dia 03/Nov/2023 resultou em um impacto social para o município de Dois Vizinhos-PR, quando os alagamentos foram ainda mais prejudiciais que as enchentes de 28 e 29 de outubro de 2023 as quais também resultaram em alagamentos, atingindo áreas que não haviam sido afetadas na primeira enchente (Pereira, 2023).

O escoamento superficial e as perdas de solo foram maiores na ST em comparação com a CT em todos os eventos monitorados (Tabela 1). A perda de solo acumulada dos 4 principais eventos ocorridos no período de agosto de 2022 a dezembro de 2023 foi de 81,93 kg na ST e de 16,58 kg na CT, o que implica em uma perda de solo 79% menor na CT em comparação com a ST. Esses resultados evidenciam a eficiência dos terraços na redução das perdas de solo por erosão hídrica. Esse comportamento também foi observado por Michellon, Reynon e Chicati (2014), que avaliaram as perdas de solo em plantio direto e observaram a eficiência do terraceamento em reduzir os processos erosivos e as perdas de solo. Londero *et al*. (2021b) encontraram valores semelhantes ao que foi encontrado nesta pesquisa, concluindo que áreas terraceadas podem reduzir em até 70% as perdas de solo. O adequado manejo do solo e o uso dessas barreiras físicas podem evitar a degradação por meio da diminuição nas perdas de solo por escoamento superficial. A retirada de terraços ou o uso inadequado do solo contribuem efetivamente na formação de escoamentos de grande magnitude (Didoné, 2014).

CONCLUSÕES

A alta intensidade da chuva e alta umidade do solo antecedente aos eventos de chuva favorecem a formação de eventos de alta magnitude do escoamento superficial e das perdas de solo, que são maiores em áreas sem terraços.

As perdas de solo na lavoura com terraços foram 79% menores em relação à lavoura sem terraços, o que evidencia a eficiência e a importância do uso de terraços para conter as perdas de solo por erosão hídrica em eventos de alta magnitude de precipitação pluvial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Agropesquisa Paraná, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Dois Vizinhos, pela área de estudo e pelos recursos financeiros, à Federação da Agricultura do Estado do Paraná/Serviço Nacional de Aprendizagem rural do Paraná (FAEP/SENAR) e à Fundação Araucária, pelo apoio e pelas bolsas de pesquisa e pelos recursos financeiros aportados.

BIBLIOGRAFIA

CAVIGLIONE, J. H.; FIDALSKI, J.; ARAÚJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C.; FUENTES-LLANILHO R.; SOUTO, A. R. Espaçamento entre terraços em plantio direto. IAPAR, **Boletim Técnico**, Londrina: IAPAR, v.71, p.59, 2010.

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; REICHERT, J. M.; MERTEN, G. H.; DALBIANCO, L.; BARRROS, C. A. P.; RAMON R. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. **J Soils Sed**, v. 14, p.1287-1297, 2014.

IDR-PARANÁ. **IDR-Paraná lança Nota Técnica alertando para cuidados com o solo e água.** 2023. Disponível em: https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/IDR-Parana-lanca-Nota-Tecnica-alertando-para-cuidados-com-o-solo-e-agua. Acesso em: 04 mar. 2025.

LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; DEUSCHLE, D.; MENEZES, D.; EVRARD, O.; BOENI, M MERTEN, G. H. Quantifying the impact of no-till on runoff in southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydro Proces.** v.35, e14286, 2021a.

LONDERO, A. L.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; DEUSCHLE, D.; MERTEN, G. H.; EVRARD, O.; BOENI M. Quantifying the impact of no-till on sediment yield in southern Brazil at the hillslope and catchment scales. **Hydro Proces**. v. 35, e14094, 2021b.

MACHADO, P. L. O. A.; WADT, P. G. **Terraceamento.** 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID01.pdf. Acesso em: 14 fev 2025.

MICHELLON, E.; REYDON, B. P.; CHICATI, M.L. Impacto econômico do manejo de solo e água em microbacias hidrográficas paranaenses. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 35, p.54-61, 2014.

PEREIRA, N. **Cidades do Sudoeste registram novos alagamentos.** Jornal de Beltrão, Francisco Beltrão, 04 nov. 2023. Disponível em: https://jornaldebeltrao.com.br/regional/cidades-do-sudoeste-registram-novos-alagamentos/. Acesso em: 18 de fev. 2025.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. 3 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013.

SHREVE, E. A.; DOWNS, A. C. Quality-assurance plan for the analysis of fluvial sediment by the U.S. **Geological.** Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory. Denver: USGS, 2005.

SUZUKI, L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Degree of compactness, soil physical properties and yield of soybean in six soils under no-tillage. **Soil Res.** V.51, p. 1-11, 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERFIL DE CÁLCIO NO SOLO: ANÁLISE COMPARATIVA EM DOIS SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO MUNICÍPIO DE CIANORTE/PR

Flávio Augusto de Souza Lourenço[1*], João Pedro Pena Jezualdo[1], Rafael Egea Sanches[2], Edison Schmidt Filho[2], Santos Henrique Brant Dias[2]

[1] Estudante de graduação da UNICESUMAR, [2] Professor da UNICESUMAR. *flavioaugustoo999@gmail.com

RESUMO

A escassez de estudos geoestatísticos sobre a distribuição do cálcio (Ca^{2+}) em profundidade para diferentes sistemas de produção motivou esta pesquisa, objetivou-se analisar a variabilidade espacial de Ca^{2+} em áreas com e sem terraços. Foram coletadas amostras em duas megaparcelas (2 hectares cada), com 36 pontos geoespaciais, em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). A concentração de Ca^{2+} foi determinada via extração com KCl 1 mol L^{-1}, seguida de análise por krigagem. Os resultados revelaram maior concentração de Ca^{2+} nas camadas superficiais (0-10 cm) nas áreas com terraços (ex.: 0-10 cm com padrão desuniforme, indicativo de retenção), enquanto nas áreas sem terraços as concentrações foram homogêneas e inferiores em todas as profundidades. Concluiu-se que o terraceamento favorece a retenção de cálcio e reduz a lixiviação, sendo uma prática conservacionista que eleva a fertilidade do solo e a sustentabilidade agrícola na região.

PALAVRAS-CHAVE: variabilidade espacial; conservação de nutrientes; geoestatística aplicada; lixiviação mitigada; sustentabilidade edáfica.

INTRODUÇÃO

O cálcio desempenha uma função crucial na estrutura do solo, promovendo a agregação dos grânulos e, assim, aumentando a porosidade e a disponibilidade de oxigênio para as raízes das plantas (DE SÁ *et al*., 2024). Adicionalmente, esse íon atua na neutralização do alumínio tóxico presente em solos ácidos, mitigando seus efeitos prejudiciais às plantas. A importância do cálcio se estende à nutrição vegetal, onde sua ausência pode levar a deficiências que comprometem o desenvolvimento das culturas predominantes na região, como a soja e o milho, que não tem crescimento radicular na falta deste nutriente. Estudos demonstram que a deficiência de cálcio pode resultar em sintomas visíveis de baixa produtividade e qualidade das culturas, apoiados pela evidência na literatura (DE SÁ *et al*., 2024).

Em relação aos sistemas de produção, o noroeste do Paraná é uma região proeminente na produção agrícola do estado, que se destaca na produção de grãos. A comparação entre sistemas, com e sem terraceamento, é especialmente relevante, pois o terraceamento não só auxilia na retenção de nutrientes, mas também desempenha um papel fundamental na redução da erosão, um fenômeno amplamente discutido. O uso de terraços em áreas montanhosas propicia maior controle sobre a erosão e uma gestão eficiente da água, resultando em solos mais férteis com produtividade agrícola (RABELO e GRIEBELER, 2023).

Observa-se uma lacuna na literatura quanto aos estudos geoestatísticos que tratam da distribuição do cálcio em sistemas de produção distintos, particularmente em relação à comparação entre áreas cultivadas com e sem terraços. A escassez de informações relevantes sobre a distribuição vertical e horizontal do cálcio neste contexto é um indicativo da necessidade de realizar análises em múltiplas profundidades, especialmente entre os 0-40 cm, para elucidar a dinâmica desse nutriente crucial nas camadas subsuperficiais do solo.

Os objetivos deste estudo incluem a análise da variabilidade espacial do cálcio em duas megaparcelas, utilizando o método de krigagem para mapear a distribuição do Ca^{2+} em quatro profundidades distintas (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm). A análise espacial em profundidade permitirá além da visualização das variações espaciais, identificar zonas que necessitam de manejo específico, o que poderá auxiliar na

tomada de decisões para a otimização da fertilidade do solo. Os semivariogramas, por sua vez, serão essenciais para quantificar a dependência espacial do cálcio, avaliando parâmetros como alcance e efeito pepita, que são cruciais para a compreensão das interações presentes nos sistemas de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área localizada no Município de Cianorte/PR, nas coordenadas geográficas latitude -23.628566 e longitude -52.665501, a uma altitude de 470 metros. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, solo comum na região noroeste do Paraná, propensa ao cultivo de diversas culturas anuais, incluindo soja e milho (LOPES *et al*., 2020). O clima do local é classificado como subtropical úmido (Cfa), segundo classificação de Köppen, precipitação média anual variando entre 1.200 e 1.600 mm e temperatura média anual de aproximadamente 20°C (ALVARES *et al*., 2013).

As unidades experimentais têm área de 2 hectares cada, uma das áreas com terraço e outra sem terraço, cada unidade teve uma grade de 36 pontos de amostragem, distribuídas de maneira uniforme. Para a coleta seguiu a grade geoespacial fixa estabelecida, o que possibilitou uma avaliação precisa da variabilidade espacial (AWAL *et al*., 2019; KOSMA *et al*., 2022). Foi adotado um protocolo rigoroso para a coleta de amostras e metodologias de amostragem sistemática, garantindo a acurácia das medições. As coletas ocorreram durante o segundo semestre de 2023.

Os valores de cálcio (Ca^{2+}) trocáveis foram obtidos pela extração com solução de KCl 1 mol L^{-1} mantendo-se a relação solução solo de 10:1 (TEIXEIRA *et al*., 2017) A alíquota de solo sugerida é de 5 cm3, com adição de 50 mL da solução e, após a agitação em mesa orbital durante 15 minutos a 200-220 oscilações por minuto, as amostras devem permanecer em repouso por 14-18 horas.

A concentração de cálcio foi avaliada em cinco diferentes profundidades do solo, 0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm e 30–40 cm. A distribuição espacial do cálcio foi mapeada utilizando semivariogramas e técnicas de krigagem. Os modelos 2D e 3D permitiram uma visualização clara das variações na disponibilidade de cálcio entre as megaparcelas com e sem terraço.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A compreensão da distribuição do cálcio em diferentes profundidades do solo, especificamente em camadas de 0–10, 10–20, 20–30 e 30–40 cm, é crucial para a identificação de zonas de manejo específico que podem melhorar a fertilidade do solo e, consequentemente, o rendimento das culturas. Tal mapeamento permite o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis, considerando a heterogeneidade do solo que influencia a disponibilidade de nutrientes (FAJARDO *et al*., 2021; RAKESH; SINHA; MUKHOPADHYAY, 2020).

Na camada de 0–10 cm (Figura 15A), observou-se uma certa desuniformidade na presença de Ca^{2+}, condição que pode ser atribuída a uma efetiva deposição de nutrientes, possivelmente influenciada por carreamento das camadas superficiais. A camada superficial tende a acumular a maioria dos insumos aplicados, o que facilita a concentração de Ca^{2+} (LAUDICINA *et al*., 2021).

Na faixa de 10–20 cm (Figura 15B), notou-se uma transição nos padrões de concentração de cálcio, indicando que a mobilidade desse nutriente começa a se tornar mais evidente. A presença de terraços pode facilitar a infiltração e, consequentemente, contribuir para a redistribuição de nutrientes para camadas mais profundas (ADNAN; IRHAM; RUSDI, 2022). Essa movimentação de nutrientes é um fenômeno em conformidade com a literatura, que discorre sobre a dinâmica dos nutrientes em ambientes agrícolas (SULMAN *et al*., 2020).

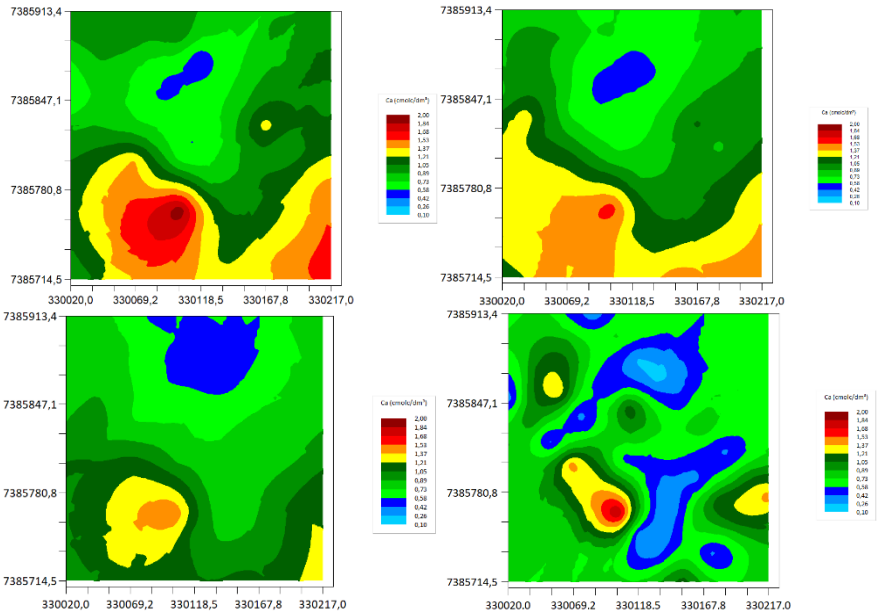


Figura 15. Modelos 2D da Krigagem na distribuição de Cálcio nas megaparcelas com terraço. A) 0 a 10 cm, B) 10 a 20 cm, C) 20 a 30 cm, D) 30 a 40 cm.

Nas camadas de 20–30 e 30-40 cm (Figura 15C e D), foi observada redução nas concentrações de cálcio, pode ser relacionado ao terraceamento que melhora a conservação de água e nutrientes nas camadas do solo. Em contraste, a **Figura 16** logo abaixo ilustra como a distribuição espacial do cálcio difere nas megaparcelas sem terraço.

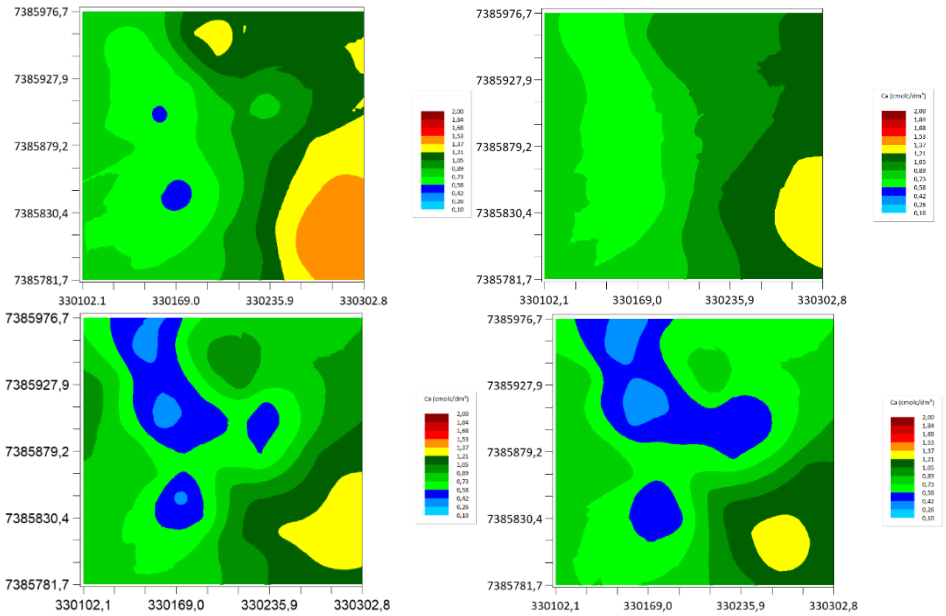


Figura 16. Modelos 2D da Krigagem na distribuição de Cálcio nas megaparcelas sem terraço. A) 0 a 10 cm, B) 10 a 20 cm, C) 20 a 30 cm, D) 30 a 40 cm.

Na camada de 0–10 cm (**Figura 16**A), há uma pouca variabilidade na concentração de Ca^{2+}, os valores são mais homogêneos e consideravelmente mais baixo, indicando que a ausência de terraços favorece uma perda maior de Ca^{2+}. Na profundidade de 10–20 cm (**Figura 16**B) e subsequentemente até 30 cm e 40 cm (C

e D), a homogeneidade é mais pronunciada quando comparada às áreas com terraços. Entretanto, pela falta de retenção do escoamento, as concentrações são consideravelmente menores. A falta de estrutura de conservação de água pode intensificar a erosão e a lixiviação dos nutrientes, dificultando a retenção de Ca^{2+} no solo. Essa análise sugere que a ausência de terraço pode ser uma limitação significativa para a eficiência do uso de fertilizantes e para a sustentabilidade dos sistemas produtivos subtropicais (BHAYO *et al*., 2018; SULMAN *et al*., 2020).

Comparando ambos os sistemas, nota-se que enquanto as mega parcelas com terraço apresentam uma distribuição mais desuniforme de cálcio, mas com concentrações superiores, a ausência de terraços resulta em padrões de distribuição mais uniformes e valores baixos do nutriente, com uma tendência à degradação da qualidade do solo em profundidade. A desuniformidade no sistema de terraço associado a concentrações de Ca^{2+} baixa na mega parcela sem terraço, demonstra que a região necessita de outras práticas de conservação associado ao terraço, para impedir a concentração do nutriente em pontos do terraço. Esses resultados têm implicações diretas nas práticas agronômicas, sugerindo que a adoção de técnicas de terraceamento é vital não apenas para a retenção de cálcio, mas também para a mitigação da erosão do solo (KAMALAKAR *et al*., 2020).

CONCLUSÕES

Deve ser realizado a implementação de medidas de conservação do solo, com foco no manejo de nutrientes, para potencializar a fertilidade e a sustentabilidade das práticas agrícolas, especialmente na região de Cianorte/PR. A robustez do método geoestatístico aplicado, permitem uma representação precisa da variabilidade espacial, fundamental para a compreensão dos mecanismos de distribuição de nutrientes em contextos agrícolas diversos. Ressalta-se a importância de estudos futuros que explorem mais profundamente as interações entre práticas de manejo e a dinâmica dos nutrientes, especialmente considerando a diversidade das condições edáficas e climáticas que influenciam a produtividade agrícola.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente à Rede Paranaense de Agropesquisa, à Fundação Araucária e a todos os parceiros acadêmicos e técnicos que, com sua dedicação e apoio financeiro, tornaram possível este estudo.

BIBLIOGRAFIA

ADNAN, A.; IRHAM, M.; RUSDI, M. Spatial Analysis Of Organic Material, CaCO3 and TOC in Coastal Area, Aceh Besar Regency. **Aceh International Journal of Science and Technology**, v. 11, n. 2, p. 96–113, 4 set. 2022.

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

BHAYO, A. M. *et al*. Impact of Flood 2010 on the Fertility Status of Soil of Tehsil Garhi Khairo, District Jacobabad, Pakistan. **Journal of Horticulture and Plant Research**, v. 4, p. 25–32, nov. 2018.

DE SÁ, A. A. S. *et al*. A importância do cálcio para a nutrição de plantas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 17, n. 2, 29 fev. 2024.

FAJARDO, J. D. V. *et al*. Chemical soil attributes in different use systems, Itacoatiara-AM, Brazil. **Folia Amazónica**, v. 30, n. 1, p. 49–59, 18 out. 2021.

HEGDE, R. *et al*. Vertical Distribution of Physical and Chemical Properties of Soils of Ramapura-1 Microwatershed of YadgirTaluk and District of Karnataka, India. **International Journal of Environment and Climate Change**, p. 88–96, 26 abr. 2021.

KAMALAKAR, J. *et al*. Nutrient Status of Sugarcane Growing Soils of Nizamabad District of Telangana State. **International Research Journal of Pure and Applied Chemistry**, p. 1–9, 5 dez. 2020.

LAUDICINA, V. A. *et al*. Relief and calcium from gypsum as key factors for net inorganic carbon accumulation in soils of a semiarid Mediterranean environment. **Geoderma**, v. 398, p. 115115, set. 2021.

RABELO, M. W. D. O.; GRIEBELER, N. P. Locação automatizada de terraços com uso de trator agrícola orientado por sistema global de navegação por satélites. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 6, p. 5189–5209, 12 jun. 2023.

RAKESH, S.; SINHA, A. K.; MUKHOPADHYAY, P. Vertical Distribution of TOC, TN and Other Important Soil Attributes and Their Relationship in Alfisol and Entisol of West Bengal. **International Journal of Environment and Climate Change**, p. 62–73, 18 fev. 2020.

SULMAN, B. N. *et al*. Land Use and Land Cover Affect the Depth Distribution of Soil Carbon: Insights From a Large Database of Soil Profiles. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 146, 25 ago. 2020.

TEIXEIRA, P. C. *et al*. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. Brasília, DF: Embrapa., 2017.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INFLUÊNCIA DO TERRACEAMENTO NA DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO POR PROFUNDIDADE EM SOLO ARENOSO

Guilherme Ishii Neves[1*], Amanda Eustachio Pereira[2], Rafael Egea Sanches[3], Edison Schmidt Filho[3], Anny Rosi Mannigel[3]

[1] Estudante de Agronomia - UniCesumar Maringá; [2] Estudante de doutorado – UEL; [3] Professor Dr. do Curso de Agronomia na Unicesumar, PR, Brasil. Pesquisador do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI.
*guilhermeishiineves1@gmail.com

RESUMO

Solos arenosos são vulneráveis à erosão hídrica, e o terraceamento pode reduzir o escoamento e melhorar a retenção de nutrientes. O estudo investigou a distribuição vertical do fósforo (P) em um Latossolo em Cianorte-PR, comparando áreas com e sem terraceamento. Foram analisadas 288 amostras de solo em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm). Os resultados mostraram que o P se concentra na camada superficial (0-10 cm), com redução significativa em maiores profundidades. No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nos níveis de P entre áreas com e sem terraceamento durante o período avaliado. Conclui-se que, embora o terraceamento auxilie na conservação do solo, sua influência na distribuição do P foi limitada no intervalo analisado.
PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; fertilidade; qualidade do solo.

INTRODUÇÃO

A qualidade do solo (QS) é um elemento crucial para assegurar a sustentabilidade e a produtividade dos sistemas agrícolas. Ela representa um conjunto complexo de características físicas, químicas e biológicas que influenciam diretamente a capacidade do solo de sustentar a vida vegetal e animal, além de desempenhar um papel fundamental na prestação de serviços ecossistêmicos (Parr, 2000). A avaliação e o monitoramento contínuo da qualidade do solo são essenciais para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, promovendo práticas de manejo que visem à conservação e à melhoria dessas características fundamentais. A adoção de técnicas agrícolas sustentáveis, como o terraceamento, é a medida-chave para preservar e restaurar a qualidade do solo, contribuindo para a produção de alimentos e a conservação dos recursos naturais (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

O teor de fósforo no solo é um dos indicadores químicos fundamentais da qualidade do solo. O fósforo desempenha um papel essencial no metabolismo das plantas, sendo necessário para processos como a fotossíntese, a respiração e a transferência de energia celular (Malhotra, 2018). O teor de fósforo no solo atesta a capacidade do solo de fornecer um ambiente nutritivo às plantas e sustentar a produção agrícola (Balemi & Negisho, 2012). Uma das características únicas do fósforo é sua baixa mobilidade, principalmente entre as camadas de profundidade do solo (Schaller *et al*., 2019). A disponibilidade de fósforo costuma ser um grande fator limitante do crescimento em muitos ecossistemas ao redor do mundo, pois pode se ligar às partículas do solo ou se transformar em formas menos solúveis (Raghothama, 2015).

O terraceamento é uma prática conservacionista adotada na agricultura para reduzir a erosão hídrica e melhorar a qualidade do solo (Fidalski, 1998). Essa técnica transforma o terreno em uma série de degraus horizontais que reduz a velocidade da água da chuva que desce o declive e permite que ela seja distribuída de maneira mais uniforme ao longo do solo (Machado & Wadt, 2021). Esse processo de distribuição disciplinada da água da chuva facilita sua infiltração no solo, ajudando a recarregar os lençóis freáticos e mantendo a umidade necessária para o crescimento das plantas (Fernandes *et al*., 1991). Além de mitigar a erosão hídrica, o terraceamento também atua na retenção de nutrientes no solo. Ao reduzir a perda de solo e o escoamento superficial, o terraceamento minimiza a perda de nutrientes, os quais são frequentemente

arrastados pela água da chuva em áreas não protegidas (Franco, 2018). O fósforo, em particular, é facilmente levado em solos desprotegidos, resultando em sua perda para o ambiente e a redução da fertilidade do solo. Por isso, o teor de fósforo no solo pode ser um bom indicador da eficiência da técnica de terraceamento.

Entender essas dinâmicas é essencial para abordar a questão mais ampla da fertilidade do solo e práticas agrícolas sustentáveis. Pesquisas mostraram que a distribuição vertical de fósforo em solos pode variar significativamente dependendo de fatores como tipo de solo, uso da terra e práticas de manejo (Zhao *et al*., 2020). Essa variabilidade destaca a importância de estudos específicos do local para desenvolver estratégias personalizadas para o manejo de fósforo que otimizem sua disponibilidade para plantas em diferentes profundidades do solo.

Este estudo investiga a distribuição vertical de fósforo em um Latossolo Vermelho no município de Cianorte-PR, comparando 2 hectares com terraceamento e 2 hectares sem terraceamento. O objetivo é verificar a influência do terraceamento sobre os teores de fósforo nessas condições específicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Mesorregião Noroeste do Paraná, município de Cianorte, na fazenda Bispo Rei (23º 39' 48'' S, -52.662418° W). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho (Teixeira, 2017). O clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é Cfa (clima subtropical úmido), com precipitação média anual de 1403 mm, temperatura média de 21,9 ºC e umidade relativa do ar variando entre 60% e 90%.

A área experimental compreendeu duas megaparcelas de 2,0 ha, sendo uma com terraços e outra sem terraços, selecionadas com base nas condições do solo para atender às demandas da Rede de Agropesquisa Paranaense. A distribuição dos pontos de coleta foi georreferenciada utilizando o software DataGeosis. Foram coletadas 36 amostras de solo por profundidade em cada megaparcela (0,0–0,10 m; 0,10–0,20 m; 0,20–0,30 m e 0,30–0,40 m), totalizando 288 amostras de solo. As amostras foram obtidas com o uso de trado e posteriormente secas ao ar. Os procedimentos laboratoriais para a determinação de fósforo nas amostras seguiram a metodologia descrita por EMBRAPA (2018).

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando papel fundamental na transferência de energia, nodulação e fixação de nitrogênio, além de contribuir para a formação de frutos e sementes, bem como para a resistência a pragas (Gianello *et al*., 1995). No entanto, é um elemento de baixa mobilidade no solo devido à sua fixação pelos minerais da argila (Lopes *et al*., 2004). Nos solos arenosos, essa disponibilidade pode ser ainda mais reduzida devido à baixa capacidade de retenção de nutrientes e alta porosidade, o que favorece a lixiviação de elementos mais móveis, como nitrato e cloro (Santos, 2008). A Tabela 1 apresenta os teores de fósforo em diferentes profundidades sob dois tipos de manejo: com terraço (CT) e sem terraço (ST).

Os resultados da análise estatística apresentados na Tabela 1 demonstram que, ao se comparar os tratamentos (CT – com terraço e ST – sem terraço), não houve diferença significativa entre os tratamentos para os teores de fósforo determinados nas quatro profundidades avaliadas, diferentemente do encontrado por Vagen *et al*. (1999) que afirmam a continua perda de fósforo em áreas sem terraços.

O coeficiente de variação (CV%) variou de 34,25% a 83,47%, indicando maior variabilidade especialmente na última profundidade. Isso reflete a influência da distribuição estratificada do fósforo no solo, onde a quantidade desse nutriente pode ser influenciada pela interação entre fatores químicos, físicos

e biológicos do solo (Machado *et al*., 2004). O teor de fósforo variou entre muito baixo e médio (3,13-14,74 mg dm^{-3}), conforme os critérios de interpretação da fertilidade do solo (Pauletti, 2019).

Tabela 1. Teores de fósforo (mg dm^{-3}) em diferentes profundidades sob dois manejos (com terraço e sem terraço).

Profundidade	**CT**	**ST**	**CV%**
0-10 cm	13,78 Aa	14,74 Aa	34,25
10-20 cm	10,06 Ab	8,52 Ab	54,37
20-30 cm	6,58 Ac	6,56 Ab	83,47
30-40 cm	3,33 Ac	3,13 Ac	51,88
CV	**51,80**	**56,97**	

Notas: Médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna e letras maiúsculas distintas na linha diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Ao se analisar o comportamento de P ao longo das profundidades estudadas, verificou-se que tanto para a área com terraceamento quanto a área sem terraceamento ocorreram diferenças significativas entre as camadas. Tais diferenças nos teores de fósforo ao longo do perfil do solo evidenciam a sua maior concentração nas camadas superficiais (0-10 cm), independentemente do tipo de manejo, o que pode ser atribuído à aplicação de fertilizantes fosfatados na superfície e à baixa mobilidade do nutriente no solo. No sistema de plantio direto, ocorre uma maior concentração de nutrientes em superfície, em virtude da localização do adubo e também das menores perdas por erosão, especificamente o P, o que pode proporcionar teores várias vezes superiores em relação às camadas subsuperficiais (Muzilli, 1983), o que também justifica os altos coeficientes de variação encontrados.

Com o aumento da profundidade, os teores de fósforo diminuem progressivamente, indicando sua limitada redistribuição natural ao longo do perfil. Esse comportamento é ainda mais acentuado no manejo sem terraço, onde a maior concentração superficial em relação às demais profundidades analisadas pode estar associada a processos erosivos e ao escoamento superficial, resultando em menor infiltração e redistribuição do fósforo em camadas mais profundas. Por outro lado, no manejo com terraço, a retenção de fósforo em profundidade pode estar relacionada à redução da erosão e ao aumento da infiltração de água no solo, permitindo um melhor aproveitamento do nutriente pelas raízes das plantas (Machado & Wadt, 2021).

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste estudo mostram que, em solos arenosos, o fósforo (P) tende a se concentrar principalmente nas camadas superficiais, com diferenças significativas entre a profundidade inicial (0-10 cm) e as demais profundidades avaliadas. Para o intervalo de tempo estudado, o manejo com terraceamento não gerou diferenças expressivas nos níveis de P em comparação ao manejo sem terraceamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente à Rede Paranaense de Agropesquisa, à Fundação Araucária e a todos os parceiros acadêmicos e técnicos que, com sua dedicação e apoio financeiro, tornaram possível este estudo.

BIBLIOGRAFIA

BALEMI, T.; NEGISHO, K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2012.

FERNANDES, J. M. *et al*. **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Brasília, DF: Embrapa, 1991.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529, 20 dez. 2019.

FIDALSKI, J. Sistema de terraceamento agrícola proposto para a região noroeste do Paraná. Londrina: **Instituto Agronômico do Paraná** – IAPAR, 1998.

FRANCO, A. P. B. **Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola comparadas ao seu funcionamento**. 2018. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba

PARR, J. F. Soil quality: the foundation of a sustainable agriculture. **Agricultural Research Service**, 2000.

MACHADO, P. L. O. A.; WADT, P. G. S. **Boas práticas agrícolas: terraceamento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C. ; SILVA, C. A.; CARMO, C. A. S. ; MEIRELLES, M. S. ; MANZATTO, C. V. . Estudo de caso em agricultura de precisão: Manejo de lavoura de soja na região de Campos Gerais, PR. *In:* MACHADO P. L. O. A.; Alberto C C Bernardi; Carlos A Silva. (Org.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004, v., p. 93-113.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Campinas, v.7, n.1, p.95-102, 1983.

PAULETTI, V. (Org.) ; MOTTA, A. C. V.(Org.) . **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Editora Cubo, 2019. v. 1. 289p.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphorus and plant nutrition: an overview. **Agronomy Monographs**, p. 353–378, 26 out. 2015.

SCHALLER, J. *et al*. **Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils**. Scientific Reports, v. 9, n. 1, 24 jan. 2019.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, 2009.

ZHAO, W. *et al*. **Study on vertical variation characteristics of soil phosphorus adsorption and desorption in black soil region of Northeast China**. PLoS ONE, v. 19, n. 6, p. e0306145, 24 jun. 2024.

VAGEN, T. G., TILAHUN, Y. & ESSER, K. B. Effects of Stone Terracing on Available Phosphorus and Yields on Highly Eroded Slopes in Tigray, Ethiopia. **Journal of Sustainable Agriculture,** Vol. 15(1) 1999.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INFLUÊNCIA DO TERRACEAMENTO NA RETENÇÃO DE POTÁSSIO NO SOLO

Rafael Ferreira El Memari[1*], Jonas de Souza Borges[2], Jean Evens Alcinat [3], Anny Rosi Mannigel[4], Helio Henrique Soares Franco[5]

[1] Estudante de graduação, Univercidade UniCesumar de Maringá, PR, Brasil. Bolsista ICETI e Fundação Araucária no projeto da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, Maringá, Brasil. *rafamemari@gmail.com; [2]Estudante de graduação, Universidade UniCesumar – Maringá, PR, Brasil; [3]Mestrando do Curso de Agronomia na UniCesumar, PR, Brasil. Bolsista do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; [3]Mestrando do Curso de Agronomia na UniCesumar, PR, Brasil. Bolsista do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; [4]Docente Drª. do Curso de Agronomia na UniCesumar, PR, Brasil. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI; [5]Pós-doutorando RedeAgro/Fundação Araucária/UniCesumar. Bolsista do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI

RESUMO

A degradação do solo em áreas agrícolas é um desafio recorrente que compromete a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de cultivo. Práticas de conservação do solo, como o terraceamento, são amplamente adotadas para mitigar esses efeitos negativos e promover a saúde do solo. Este estudo investigou o impacto do terraceamento nos teores de potássio do solo (K) em megaparcelas localizadas no município de Cianorte-PR. Foram analisados os teores de K em amostras coletadas em 36 pontos por megaparcela, em diferentes profundidades (0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m) e posições no declive (terço superior, médio e inferior). O terraceamento beneficiou a manutenção de K no solo das megaparcelas, aumentando a disponibilidade do nutriente até 0,20 m de profundidade. Em contraste, a área sem terraço apresentou maior concentração de K apenas na camada superficial de 0-0,10m.

PALAVRAS-CHAVE: degradação do solo; práticas conservacionistas; solos arenosos.

INTRODUÇÃO

Os solos arenosos são altamente suscetíveis à degradação devido à sua baixa capacidade de retenção de nutrientes e maior vulnerabilidade à erosão hídrica. Essa degradação é agravada em sistemas agrícolas intensivos, onde a ausência de práticas conservacionistas amplifica a perda de fertilidade e a diminuição da produtividade. O terraceamento, nesse contexto, é amplamente reconhecido como uma técnica eficaz para mitigar os impactos da erosão, contribuindo para a preservação do solo e a sustentabilidade da agricultura (Lal, 2015).

Práticas conservacionistas, como o terraceamento, exercem papel crucial na manutenção da fertilidade do solo ao reduzir o escoamento superficial e favorecer a infiltração de água, garantindo maior proteção à superfície do solo. Esses benefícios resultam na retenção de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas, mitigando tanto as perdas desses nutrientes no solo quanto as perdas financeiras da reposição desses nutrientes ao solo por meio de fertilizantes (Bertol *et al*., 2007). Nesse contexto, práticas inadequadas de manejo do solo, somadas à ausência ou mal dimensionamento de terraços agrícolas, são um grande problema para a conservação de solos arenosos, em particular, para os solos derivados do Arenito Caiuá (Fidalski, 1998).

Diante do exposto, o potássio, um dos principais macronutrientes para o metabolismo das plantas, é frequentemente perdido em solos manejados inadequadamente (Kumari *et al*., 2024), afetando a eficiência produtiva dos cultivos. Assim, este estudo avaliou a influência do terraceamento na retenção de potássio em diferentes profundidades do solo e posições no declive (terços) de duas megaparcelas instaladas em uma área cultivada com grãos no município de Cianorte-PR.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no segundo semestre de 2023, em uma área rural de Cianorte, localizada no Norte do Paraná, nas coordenadas 23º 39' 48'' LS e -52.662418 LW. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho de textura franco-arenosa (Santos *et al*., 2015). A área experimental foi subdividida em duas megaparcelas de aproximadamente 2,0 ha cada: uma manejada com terraceamento (CT), que utiliza controle mecânico do escoamento com terraços agrícolas, e outra sem terraceamento (ST), onde não há controle mecânico do escoamento superficial.

Em cada megaparcela foram coletadas 36 amostras de solo (Figura 1), distribuídas nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m. A malha de amostragem abrangeu os terços superior, médio e inferior do declive (12 pontos para cada terço). Os teores de potássio (K) foram analisados em laboratório e os dados comparados por meio de intervalos de confiança (ao nível de 95%).

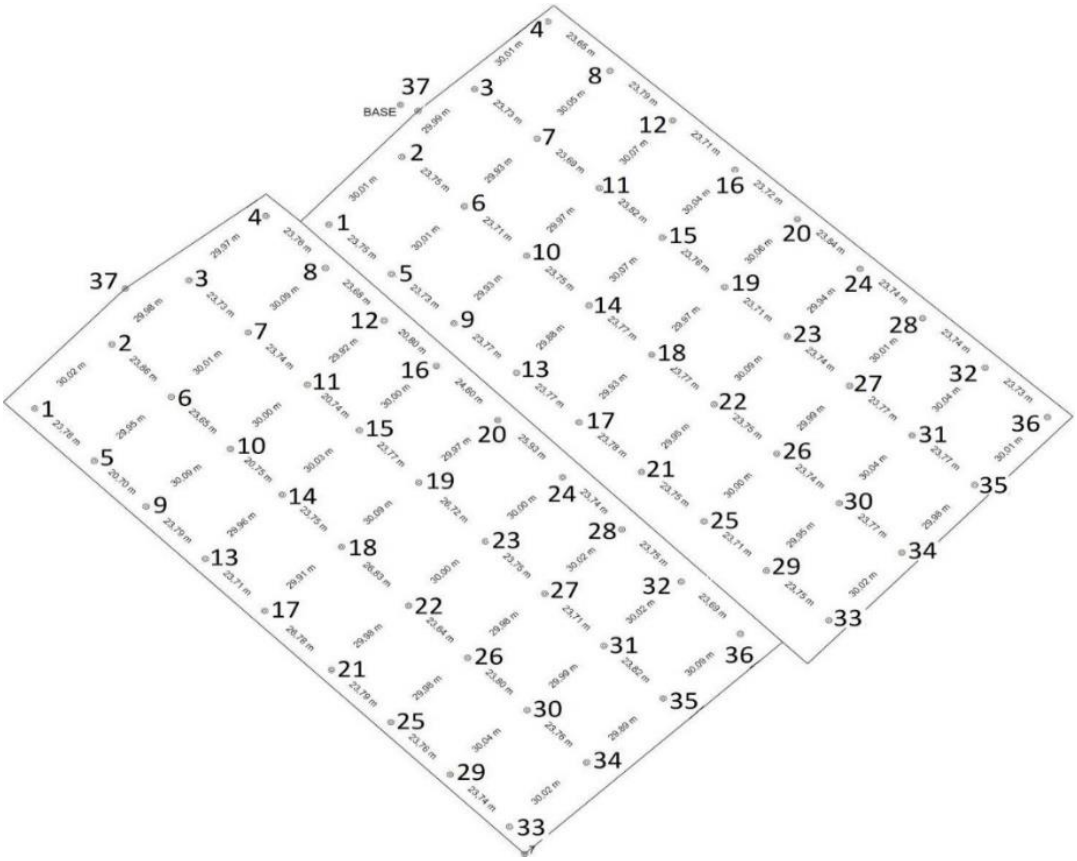


Figura 1. Malha de pontos referente às coletas realizadas nas megaparcelas, município de Cianorte-PR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicaram que, em CT, os maiores teores de K foram encontrados na profundidade de 0-0,10 e 0,10-0,20m, enquanto em ST os maiores teores de K foram encontrados na profundidade de 0-0,10m (Figura 2). É provável que a presença de terraços tenha contribuído para a redução da erosão e, consequentemente, proporcionado melhores condições para o desenvolvimento das plantas em subsuperfície. Assim, este comportamento pode ter favorecido a disponibilidade residual de K na camada de 0-0,20m. Associado a isso, é provável que, na camada de 0-0,10m de CT, os maiores teores de K também estejam associados ao efeito da matéria orgânica, que potencializa a capacidade do solo em reter cátions

como o potássio (Ucker *et al*., 2016). Por outro lado, na área ST, a maior concentração de K na camada superficial provavelmente está relacionada unicamente ao efeito da matéria orgânica em superfície, sem impacto significativo em camadas mais profundas. De modo geral, a posição do declive não afetou a distribuição do K nas megaparcelas avaliadas.

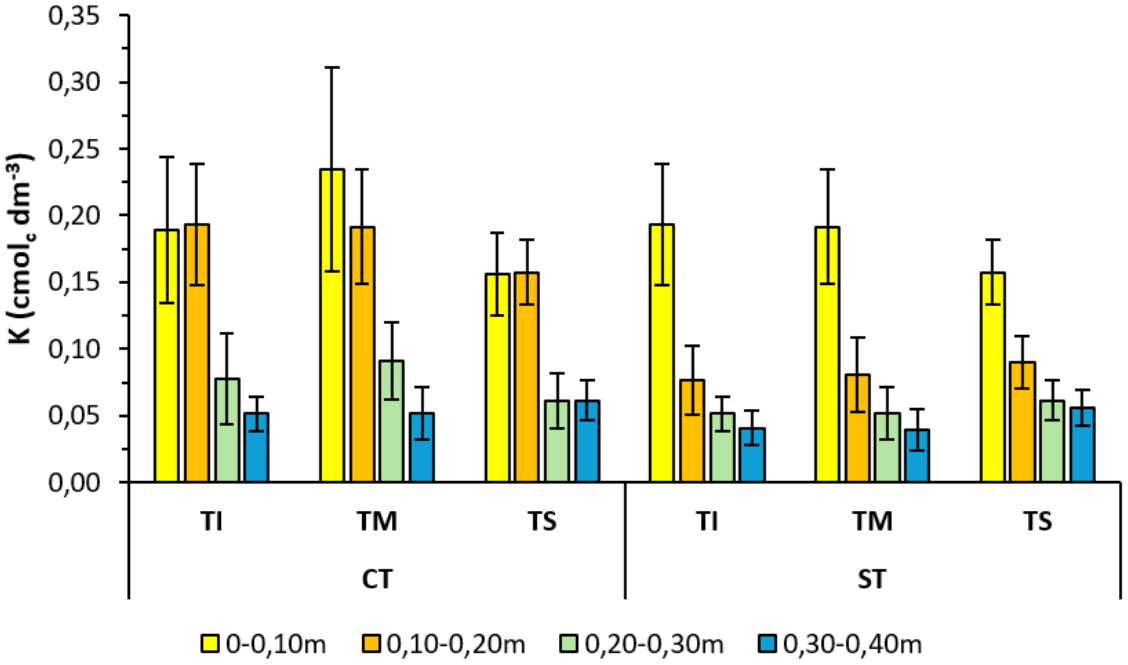


Figura 2. Distribuição de teores de potássio (K) em solo com terraço (CT) e sem terraço (ST), nos terços superior (TS), médio (TM) e inferior (TI), e nas profundidades de 0-0,10m, 0,10-0,20m, 0,20-0,30m e 0,30-0,40m.

CONCLUSÕES

A prática do terraceamento apresentou um efeito benéfico na conservação de K no solo da megaparcela avaliada, promovendo maior disponibilidade deste nutriente em superfície e em profundidade intermediária. Por outro lado, a área sem terraço apresentou limitações na distribuição de K em profundidade, com maior concentração deste macronutriente restrita à camada superficial de solo. A posição do declive não influenciou a distribuição do K nas megaparcelas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Redeagro pelo suporte técnico, financeiro e pela disponibilização das áreas experimentais. Estendemos nossos agradecimentos à equipe de laboratório pela análise das amostras e aos colaboradores pelo apoio logístico durante o experimento.

BIBLIOGRAFIA

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. do. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 133-142, 2007.

FIDALSKI, J. **Sistema de terraceamento agrícola proposto para a região noroeste do Paraná**. Acta Scientiarum, v.20, p. 313-316, 1998.

KUMARI, V. V.; BALLOLI, S. S.; KUMAR, M.; RAMANA, D. B. V.; PRABHAKAR, M.; OSMAN, M.; INDORIA, A. K.; MANJUNATH, M.; MARUTHI, V.; CHARY, G. R.; CHANDRAN, M. A. S.; GOPINATH, K. A.; VENKATESH, G.; RAO, M. S.; SINGH, V. K.; TIMSINA, J. Diversified cropping systems for reducing soil erosion and nutrient loss and for increasing crop productivity and profitability in rainfed environments. **Agricultural Systems**, v. 217, 2024.

LAL, R. **Soil erosion and its impact on ecosystem services**. International Soil and Water Conservation Research, v. 3, n. 1, p. 42-51, 2015.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa: SBCS, 2015. 102 p.

UCKER, F. E., DE-CAMPOS, A. B., HERNANI, L. C., MACÊDO, J. R. DE, & MELO, A. DA S. Movimentação vertical do íon potássio em Neossolos Quartzarênicos sob cultivo com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1548-1556, 2016.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

EFEITO DO TERRAÇO NOS LAÇOS DA HISTERESE ENTRE A VAZÃO E A CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM ÁREA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO

Keila Padilha de Oliveira Camargo de Lima [1], José Francirlei de Oliveira [2*], Ana Lúcia Londero [3], Vanessa Gonçalves Aisawa [4], Graziela Moraes de Cesare Barbosa [5]

[1]Doutoranda- Agronomia – UEL; [2]Analista de C&T – IDR- Paraná * jfoliveira79@gmail.com; [3] Pós-Doutora – Agronomia – UFSM; [4]Mestranda – Agronomia – UEL; [4]Pesquisadora – IDR – Paraná.

RESUMO

O conhecimento sobre os processos hidrosedimentométricos é essencial para planejamento e implementação de práticas eficazes para o controle da erosão. Esse estudo analisou o efeito do terraço sobre os laços de histerese entre a vazão (Q) e a concentração de sedimentos (CSS) na escala de encosta. Para realização desse trabalho foram selecionados o maior e o menor evento de precipitação-vazão no período de monitoramento de 2019 a 2024, realizados em duas encostas com (PCT) e sem terraços (PST), localizados no município de Cambé, Pr. O terraço modificou o padrão do laço de histerese entre a Q e a CSS na encosta e foi do tipo laço oito e horário na PST no maio e no menor evento, respectivamente, enquanto que na PCT ocorreu o inverso, sendo do tipo laço horário e oito no maio e no menor evento, respectivamente. Além disso, o terraço reduziu significativamente a CSS, mesmo quando a Q é semelhante entre as parcelas.

PALAVRAS-CHAVE: erosão; perdas de solo; Latossolo.

INTRODUÇÃO

Atualmente as perdas de sedimentos por erosão do solo, tem sido uma grande preocupação para o setor agrícola. O uso intensivo do solo, sem práticas adequadas de conservação tem levado a degradação, perdas da camada fértil, água, nutrientes, fertilizantes, declínio da produtividade, matéria orgânica e estruturas biológicas (COLOZZI FILHO *et al.*, 2024). O uso de terraços é uma prática conservacionista que tem se mostrado eficaz para a redução da erosão do solo, perdas de sedimentos água e nutrientes (DIDONÉ *et al.*, 2020). Estudos a respeito da dinâmica do transporte de sedimentos é importante para identificar os processos que atuam no transporte de sedimentos durante os eventos de precipitação (CARVALHO *et al.*, 2017), bem como para o processo de planejamento e implementação das práticas eficazes para minimizar os impactos causados pela erosão e transporte de sedimentos.

A partir da relação existente entre a vazão(Q) e a concentração de sedimentos em suspensão (CSS), é possível inferir sobre o comportamento hidrossedimentométrico em uma escala de encosta (MINELLA, MERTEN, MAGNAGO, 2010). Caracterizando a histerese entre a Q e a CSS é possível observar diferentes formatos da histerese, sendo o laço no sentido horário quando a CSS no ramo crescente é maior do que no ramo decrescente, o laço no sentido anti-horário, quando a CSS no ramo crescente é menor do que no ramo decrescente, e o laço do tipo oito, quando apresenta o comportamento horário e anti-horário no mesmo evento (MINELLA, MERTEN, MAGNAGO, 2010). O objetivo do presente trabalho foi caracterizar qualitativamente o efeito de terraços sobre os laços de histerese em eventos de precipitação-vazão de diferentes magnitudes.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi realizado em uma encosta situada no município de Cambé, Paraná. A região tem precipitação anual de 1.466 mm e a temperatura média é 20,4 °C (WALTRICK *et al.*, 2019). Os solos predominantes na encosta são classificados como Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho muito argilosos. Essa encosta possui uma parcela com terraço (PCT) e a outra sem terraço (PST), ambas são manejadas sob plantio direto, com sucessão de milho e soja. As parcelas foram construídas de maneira a direcionar o fluxo

de escoamento para uma calha H no exultório de cada parcela. Nesse local há estações de monitoramento da vazão (Q) e da precipitação com linígrafos e pluviômetro de cubas basculantes, ambos conectados ao *datalogger* com captação de dados sincronizados a cada 2 minutos. Os valores registrados pelo pluviômetro de básculas foram corrigidos com base na precipitação acumulada em um pluviômetro *Ville de Paris*. A concentração de sedimentos em suspensão (CSS) é monitorada por meio de coletas manuais durante os eventos e a determinação da CSS é realizada pelo método da sedimentação.

O monitoramento das parcelas ocorre desde 2018 até o presente momento, para realização desse trabalho foram selecionados o de maior e o de menor Q nas parcelas. Os resultados de Q e de CSS foram comparados pelo teste não paramétrico de Wilcoxon ($p<0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do evento de precipitação e a vazão máxima (Q) e a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) das parcelas com (PCT) e sem terraços (PST) são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Precipitação (P) e intensidade máxima (Imax) do maior e menor eventos de precipitação-vazão monitorado no período de 2018 até atualmente e as respectivas vazões máximas (Q) e a máxima concentração de sedimentos em suspensão (CSS) das parcelas com (PCT) e sem terraços (PST).

Data	P	Imax	Local	Q	CSS
	(mm)	(mmh^{-1})		(Ls^{-1})	(gL^{-1})
EVENTO 13/03/2022	73,5	253,46	PCT	42,25 b	4,37 b
			PST	242,07 a	16,37 a
EVENTO 20/10/2022	26,9	46,941	PCT	0,65 a	0,91 b
			PST	0,65 a	8,30 a

*Teste comparação de média – Wilcoxon ($p<0,05$)

O evento de 13/10/2022 foi o maior evento monitorado nesse período de oito anos, registrando uma precipitação de 73,5 mm e Imax de 253.46 mm h^{-1}, gerando uma vazão máxima significativamente maior na PST, sendo de 42.25 Ls^{-1} na PCT e de 242.07 Ls^{-1} na PST (Tabela 1). Esse evento resultou em uma CSS também significativamente maior na PST, sendo de 4,37gL^{-1} na PCT e de 16,37gL^{-1} na PST (Tabela 1). Já o menor evento de precipitação-vazão ocorreu no dia 20/10/2022, registrando uma precipitação de 26,9 mm, com Imax de 46,94 mmh^{-1}. A vazão máxima em ambas foi semelhante (Qmáx 0,65 Ls^{-1}), no entanto, a CSS foi significativamente maior da PST, sendo de 0,91 gL^{-1} na PCT e na PST de 8,30 gL^{-1} (Tabela 1).

A partir dos dados de vazão e sedimentos (Figuras 1A e 1C) e (Figuras 1E e 1G) das parcelas com terraço e sem terraço, foi possível determinar os laços histerese do maior (Figuras 1B e 1D) e do menor evento (Figuras 1F e 1H) monitorado nesse período.

No evento de maior precipitação a PCT apresentou histerese do tipo laço horário (Figura 1B) e a PST tipo laço oito (Figura 1D). Já no evento de menor magnitude aconteceu o inverso, a PCT apresentou histerese do tipo laço oito e a PST do tipo laço horário (Figuras 1F e 1H) respectivamente.

No evento de maior magnitude registrado no dia 13/03/2022 a PCT apresentou histerese do tipo laço horário (Figura 1B), indicando que a CSS foi maior no ramo crescente do que no ramo decrescente. Esse resultado ocorre devido à facil e rápida mobilização do solo, indicando que os sedimentos soltos foram carregados durante o ramo de ascenção da Q (OTTINELLI *et al.,* 2011). Já na PST a histerese foi do tipo laço oito (Figura 1D), ou seja, o pico de CSS ocorre antes da Q e ainda a redução da CSS é mais lenta que a da Q no ramo decrescente do evento. A redução mais lenta da CSS na recessão do evento mostra que os sedimentos desagregados mais distantes foram transportados para o exultório da parcela. Esse resultado mostra que há diferentes tempos de resposta entre a Q e a CSS entre as parcelas, evidenciando o efeito do

terraço na histerese entre esses dois fatores. Além disso, esse resultado mostra a fragilidade desse solo devido ao manejo, pois os sedimentos estão soltos e facilmente desagregável para serem transportados.

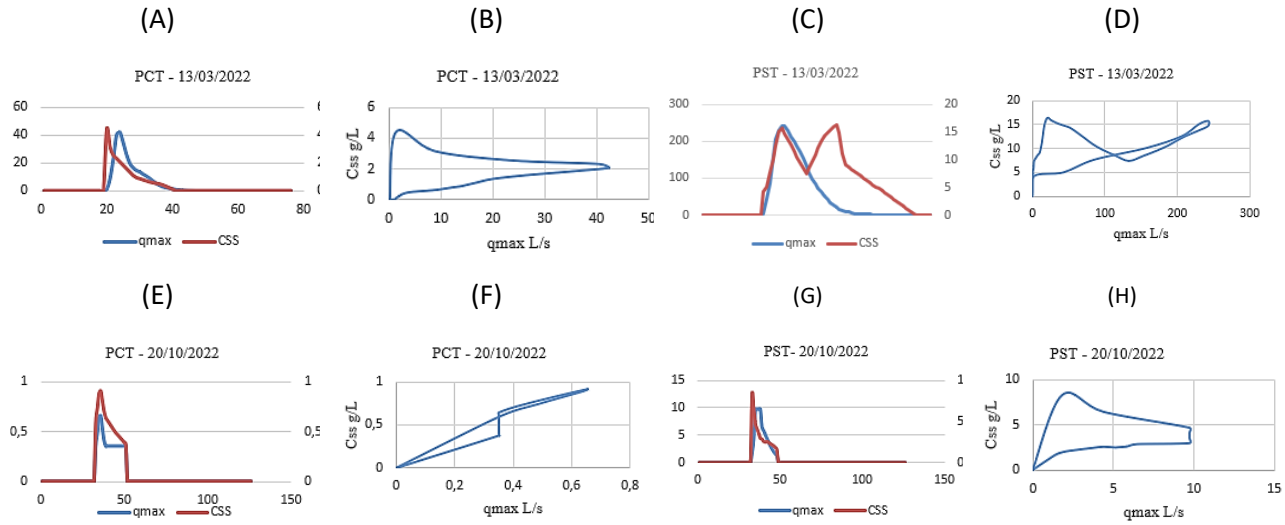


Figura 1. Hidrogramas (A,C,E e G), sedimentogramas (A,C,E e G) e os laços de histerese da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão (B,D,F e H) do maior evento monitorado nas parcelas com (PCT) e sem terraços (PST)

No evento de 20/10/2020 a curva de histerese na PCT apresentou um formato tipo oito (Figura 1F), ou seja, a CSS atingiu o pico antes do pico da Q, caracterizando um sentido horário, com redução mais lenta na recessão do evento, caracterizando um sentido anti-horário. Já na PST a histerese no sentido horário, ratificando a rápida mobilização do sedimento, logo no início da Q (Figura 1H).

O terraço influenciou o formato da histerese na encosta em relação à sua ausência. É importante salientar que, considerando que os fatores controladores da histerese como o uso e manejo do solo são semelhantes entre as parcelas, esses resultados indicam que o terraço influenciou os processos de ligação entre a vertente e o exultório da encosta, além da variabilidade espacial e temporal das fontes de sedimentos uma vez que secciona o comprimento de rampa da encosta, desconectando superficialmente os terços superior (com menor declividade, 5%) do inferior (com maior declividade, 12%) interrompendo a transferência de sedimentos daquela parte menos declivosa. Já na PST a transferência pode ser facilitada devido à conexão de sulcos e depósitos de sedimentos no terço inferior, fatores que respondem a rápida mobilização de sedimentos no inicio e a manutenção de uma recessão mais lenta no final do evento de precipitação-vazão.

CONCLUSÕES

A presença de terraços modificou o padrão do laço de histerese entre a Q e CSS na encosta. Na parcela sem terraço ela apresentou laço oito no maior evento e sentido horário na parcela com terraço, enquanto que, em eventos de menor magnitude, a histerese apresentou sentido horário na parcela sem terraço e do tipo oito na com terraço.

A presença do terraço reduziu significativamente a concentração de sedimentos em suspensão, mesmo no menor evento, quando a vazão é semelhante à parcela sem terraço. Além disso, independente do terraço, a rápida mobilização de sedimentos nas parcelas deve ser considerada no manejo da área sob sistema plantio direto. Além disso, um número maior de eventos é necessário para a quantificação e

separação da contribuição do controle da precipitação e do manejo do solo que afetam a variabilidade deste índice. Esse resultado mostra que o manejo do local não é suficiente para controlar a erosão mesmo em eventos de baixa precipitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IDR - Paraná, Itaipu Binacional, Rede de Agropesquisa do Paraná e bolsa Capes,

BIBLIOGRAFIA

DIDONÉ, E. J., C. BARBOSA, G. M., OLIVEIRA, J. F., OLIVEIRA, L. H. P., OLIVEIRA, J. C. S., RODRIGUES, R. J., MINELLA, J. P. G. Monitoramento do impacto da agricultura conservacionista no comportamento hidrossedimentológico em uma encosta agrícola. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 14., 2020,Campinas/SP. **Anais** [...].2020.

CARVALHO, G. A.; COLMAN, C.; SONE, J. S.; PEREIRA, R. B.; SOBRINHO, T. A. Produção de sedimentos e efeito histerese na concentração de sedimentos. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais [...].** Florianópolis: ABRH, 2017.

COLOZZI FILHO, A., BERTAGNOLI, B. G. P., MENONCIN, A. S. D. S., OLIVEIRA, J. F. D., CAMPANA, I. O., MACHINESKI, G. S., BARBOSA, G. M. D. C. (2024). Terracing Reduces Arbuscular Mycorrhizal fungi Spore Loss through Surface Runoff. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 67, e24230801. https://doi.org/10.1590/1678-4324-PSSM-2024230801.

MINELLA, J. P., MERTEN, G. H., MAGNAGO, P. F. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15, 1306-1313. 2011. https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001200013.

OTTONELLI, A. S.; MINELLA, J. P. G.; REICHERT, J. M.; BARROS, C. A. P. Efeito histerese entre vazão e concentração de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica no Planalto Riograndense. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais**... Viçosa: SBCS, 2011.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: Atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 39, n. 1, p. 256-267, 2015. https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150147.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PARÂMETROS FITOMÉTRICOS E PRODUTIVOS DA SOJA EM FUNÇÃO DAS ADUBAÇÕES MINERAL E ORGANOMINERAL ASSOCIADA A UM BIOESTIMULADOR

Juliane Almeida Battisti[1*], Jéssica Caroline de Lima[2], Eduardo Luiz Buligon[3], Felipe do Casal de Paula[3], Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa[4]

[1, 2, 3] Bolsista de doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR; [4] Docente, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR; *juliane.battisti@unioeste.br

RESUMO

O Brasil é um grande produtor de soja e extremamente dependente de fertilizantes externos. Entretanto, existem trabalhos que mostram que a utilização de fertilizantes minerais pode ser diminuída pela utilização de fertilizantes organominerais, bem como utilização de microrganismos. No presente trabalho foram avaliados alguns parâmetros fitométricos (altura da planta, número de nódulos, nódulos viáveis) e produtivos (número de grãos, número de vagens e produtividade) da soja em função das adubações mineral e organomineral associada a um bioestimulador comercial. O experimento foi um delineamento em faixas conduzido a campo, na cidade de Cascavel – PR, composto por 5 repetições. O tratamento 1 (adubação organomineral combinada ao Microgeo®) apresentou maior número de vagens e grãos, porém, parâmetros como altura, produtividade e nodulação não apresentaram diferença estatística, fato que pode ser explicado por fatores de compensação fisiológica das plantas e suficiência de nutrientes fornecidos por todos os tratamentos, sendo necessários estudos posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: produtividade agrícola; Microgeo®; *Glycine max* (L.) Merr.

INTRODUÇÃO

A produção de grãos no Brasil na safra 2023/24 está estimada em 322,3 milhões de toneladas (Conab, 2025), de modo que o Brasil está classificado como segundo maior exportador e quarto maior produtor de grãos em geral, sendo o maior produtor e exportador de soja (Embrapa, 2021).

Tendo em vista a significativa produtividade brasileira, sabe-se que o consumo de fertilizantes também é muito alto, de modo que o Brasil ocupa a quarta posição no ranking dos países com maior consumo de fertilizantes (Brasil, 2022), sendo excessivamente dependente do mercado externo, o que resulta em grande oscilação de valores (Argenta, 2023).

Diante desse panorama existem estratégias para diminuir a dependência de fertilizantes minerais, tais como o uso de microrganismos (Brasil, 2022; Argenta, 2023). Os benefícios relacionados ao uso de microrganismos têm sido amplamente estudados como uma estratégia que visa mitigar a dependência de produtos químicos e promover práticas agrícolas mais sustentáveis, por meio da ciclagem de nutrientes gerada (Cargnelutti et al., 2021).

As referências de literatura são escassas, mas o uso de bioestimulador já apresentou vantagens quando em combinação a adubação mineral em pastagem, em relação a quantidade de massa seca da forragem, forragem disponível e consumível e capacidade de suporte de pastagem (Oliveira et al., 2024). Souza et al. (2022) observaram aumento na produtividade de grãos de milho em área com aplicação de bioestimulador.

Acredita-se que o uso de adubo organomineral combinada ao bioestimulador comercial em substituição aos fertilizantes minerais pode apresentar vantagem, pois o adubo organomineral precisa ter em sua composição, no mínimo 8% de carbono orgânico (Instrução Normativa no 61, de 08 de julho de 2020), sendo este fonte de energia para a microbiota.

Em vista disso, tem-se como objetivo avaliar os parâmetros fitométricos e produtivos da cultura de soja cultivada sob diferentes adubações (mineral e organomineral) associadas ao bioestimulador comercial

Microgeo®, realizando a quantificação e avaliando a viabilidade de nódulos da soja, medindo a altura da planta, o número de vagens e de grãos por planta bem como a produtividade da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um experimento a campo no NEEA (Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola), localizado na BR-467 - Sede Alvorada, Cascavel – PR. Sua latitude sul é de aproximadamente 24°54' e longitude oeste de 53°31', altitude de 750 metros acima do nível do mar, possui um Latossolo Vermelho distroférrico.

O delineamento experimental foi em faixas, abrangendo uma área experimental de 441,6m² composto por 5 repetições. A cultura de soja (Glycine max [L.] Merr.) foi cultivada em faixas com comprimento de 3,2x18m no período de outubro de 2024 a fevereiro de 2025. Os tratamentos foram os seguintes: adubação organomineral combinada ao bioestimulador Microgeo® (T1), adubação mineral combinada ao bioestimulador Microgeo® (T2), adubação organomineral (T3) e adubação mineral (T4).

A safra foi cultivada com uma densidade de 12 sementes/m. Nos tratamentos 1 e 2 foi inserido 150 $L.ha^{-1}$ de Microgeo®; nos tratamentos 1 e 3, 400 $kg.ha^{-1}$ de adubo organomineral NPK - Organomax™ 1:10:10 e no tratamento 4, 200 $kg.ha^{-1}$ de adubo mineral 2:20:20.

Os demais tratos culturais foram feitos conforme a necessidade da cultura.

Foi realizada a quantificação e viabilidade de nódulos (Hungria et al., 2001), avaliação da altura da planta, número de vagens e de grãos por planta e produtividade da soja, sendo o peso dos grãos corrigido de acordo com a umidade medida a campo e ajustado para a umidade padrão desejada para comercialização (13%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que houve diferença estatística significativa ($p<0,05$) para os parâmetros número de grãos e número de vagens, com destaque para o tratamento 1 (adubação organomineral combinada ao bioestimulador Microgeo®). No entanto, não foram observadas diferenças estatísticas para altura de planta, produtividade, número de nódulos e nódulos viáveis. Esses resultados sugerem que, apesar do maior número de estruturas reprodutivas no T1, isso não se refletiu em aumento significativo da produtividade final. Isso pode estar relacionado a mecanismos de compensação fisiológica da planta, que regulam o desenvolvimento reprodutivo mesmo diante de variações nutricionais, além da possibilidade de que todos os tratamentos tenham fornecido nutrientes em níveis adequados para o crescimento da soja.

Tabela 1. Parâmetros fotométricos e produtivos da cultura de soja.

Tratamentos	Nº de grãos	Nº de vagens	Altura da planta(cm)	Produtividade (scs/há)	N° de Nódulos	Nódulos viáveis
1	$180,4^{B}$	70^{C}	79,8	104,1	78,2	72,0
2	$105,4^{A}$	$19,2^{A}$	82,6	114,3	69,4	65,4
3	$102,4^{A}$	$39,8^{B}$	76,4	131,3	82,4	78,0
4	$104,2^{A}$	$40,4^{B}$	78,6	103,9	69,2	65,2
CV%	19,79	25,56	6,29	18,56	32,09	33,64

Nota: T1: adubação organomineral combinada ao Microgeo®, T2: adubação mineral combinada ao Microgeo®, T3: adubação organomineral, T4: adubação mineral. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% = coeficiente de variação.

Sabe-se que o crescimento vegetativo é determinado principalmente pela disponibilidade de nitrogênio e condições ambientais, de modo que a altura da planta pode ter se mantido semelhante se todos os tratamentos forneceram nitrogênio suficiente, podendo ser a adubação organomineral combinada ao Microgeo mais eficiente em solos mais pobres. A produtividade é um fator multifatorial podendo não ter sido impactada apenas pelo aumento no número de vagens e grãos. Em relação a nodulação da soja, sabe-se que a mesma depende da interação com bactérias fixadoras de nitrogênio (Bradyrhizobium spp.), de modo que se o solo já apresentava população suficiente dessas bactérias, o emprego do bioestimulador pode não ter afetado significativamente a nodulação.

Porém na literatura o uso de adubação organomineral em substituição ao uso de adubação mineral mostrou-se favorável para a cultura da soja em doses de 1600 $kg.ha^{-1}$, possibilitando altura de plantas acima de 80 cm, massa de 1000 grãos acima de 140 g e produtividade acima de 4000 kg ha^{-1} (Machado et al., 2018). Almeida Júnior et al. (2021) também observaram que a adubação organomineral mostrou-se como uma alternativa viável para a cultura da soja, proporcionando um incremento na produção. Trabalhos também demonstram maior produtividade de grãos da cultura do milho segunda safra em áreas com Microgeo® (Suárez et al., 2021).

CONCLUSÕES

O melhor desempenho do T_1 para número de vagens e grãos sugere que a adubação organomineral combinada ao Microgeo® melhorou a eficiência do metabolismo da soja no estágio reprodutivo. No entanto, parâmetros como altura, produtividade total e nodulação podem ter sido estabilizados devido a efeitos compensatórios da planta, de modo que a ausência de diferenças significativas nesses parâmetros pode ser atribuída a fatores como a compensação fisiológica das plantas e a suficiência de nutrientes fornecidos por todos os tratamentos, sendo necessários estudos posteriores sobre o assunto, especialmente com um tempo maior de condução de experimento.

AGRADECIMENTOS

Trabalho realizado com apoio da CAPES, do CNPq, do PGEAGRI-UNIOESTE e da empresa MICROGEO.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; DE LIMA NETTO, A. M.; LIMA, L. I. O.; PINTO, L. S.; SILVA, R. F.; VERONEZ, R. V. D. S.; PIRES, D. E.; ALVES, R. P.; DUTRA, J. M.; SANTOS, L. J. S. Utilização de adubação organomineral na cultura da soja. **Brazilian Journals of Development**, v. 7, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n7-531.

ARGENTA, C. V.; BRUM, A. L.; ALLEBRANDT, S. L.; MUELLER, A. A. A realidade do mercado de fertilizantes no Brasil: uma breve análise. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, p. 1–17, 2023. DOI: 10.17765/2176-9168.2023v16n3e10998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**. Brasília: MAPA, 2022. 100 p. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/confert/pnf/pnf-v-08-06-12-23.pdf. Acesso em: 4 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020: MAPA. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, DF, 09 jul. 2020.

CARGNELUTTI, D.; BAMPI, E.; SANTIAGO, G. M.; LUZ, V. C.; GARBIN, E.; CASTAMANN, A.; MOSSI, A. J. Soluções tecnológicas emergentes para uma agricultura sustentável: microrganismos eficientes. *In:* HERNÁNDEZ

GARCÍA, L. M. (Org.). **Agroecologia: princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável**. Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 31-62. DOI: 10.4322/mp.978-65-991393-9-0.c2.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo**. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo. Acesso em: 05 jul. 2024.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2001. (Documentos, n. 35).

MACHADO, W. D.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; ALVES, A. R.; BACKES, C.; BARROS, L. R.; SANTOS, A. J. M.; JAIME, N. G. Fertilizante organomineral e mineral na produtividade da soja na região do cerrado. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 4, p. 465-471, 2018.

OLIVEIRA, K. C. D.; BERTI, M. P. D. S.; LOPES, J. P. F.; LOPES, P. R.; MOREIRA, D. D. S.; RODRIGUES, F.; BERTI, C. L. F.; INOCENCIO, M. E. Efeito de bioestimulador e adubação mineral sobre a produtividade de Brachiaria ruziziensis. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, p. e6316, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n8-150.

SOUZA, P. T. **Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo e componentes de produção da cultura do milho em áreas com e sem aplicação de Microgeo® no Cerrado**. 2022. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2022.

SUÁREZ, D. F.; MATTOS, A. P.; RISSATO, B. B.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Activación de mecanismos de defensa en maíz pira mediante el uso del abono orgánico Microgeo®. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 11, n. 5, p. 965-977, ago. 2020. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342020000500965&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 02 out. 2024. DOI: 10.29312/remexca.v11i5.2009.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA RESIDUAL DE CULTIVARES DE TRIGO, SUBMETIDOS A DOSES DE NITROGÊNIO

Pergentino Luiz De Bortoli Neto[1], Jeizi Kelli Cerutti Candeu[2*], Gabriel Barth[3], Dimas Agostinho[4], Volnei Pauletti[4]

Engenheiro Agrônomo, Corteva Agroscience[1], Estudante de Mestrado, UFPR[2], Pesquisador, Doutor, Fundação ABC[3], Professor, Doutor, UFPR[4] *jeizi.kelli@gmail.com.

RESUMO

A biomassa residual do trigo é uma alternativa sustentável para energia renovável, mas o impacto de cultivares e doses de nitrogênio (N) em seu potencial energético é pouco conhecido. Este estudo avaliou a produtividade e o potencial energético da biomassa residual do trigo em Arapoti e Ponta Grossa, PR, utilizando três cultivares (Quartzo, Supera e TBIO Toruk) e cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1}). Os maiores rendimentos de grãos foram obtidos com 182 kg ha^{-1} de N em Arapoti e 123 kg ha^{-1} em Ponta Grossa. A cultivar Quartzo destacou-se em grãos, enquanto a Supera produziu mais biomassa. O aumento das doses de N elevou a produtividade de biomassa, alcançando potenciais energéticos de 2614 kWh ha^{-1} em Ponta Grossa e 1668,93 kWh ha^{-1} em Arapoti. Conclui-se que a adubação nitrogenada maximiza o potencial energético da biomassa residual, independentemente dos teores de nutrientes.

PALAVRAS-CHAVE: bionergia; potencial energético; energia renovável; adubação nitrogenada.

INTRODUÇÃO

O aumento do uso de combustíveis fósseis tem intensificado o efeito estufa (UNEP, 2024). Como alternativa, a bioenergia proveniente de fontes renováveis como a biomassa, é vista como solução para crises energéticas e crescimento econômico (Godibo, 2019). A bioenergia integra o ciclo de carbono e tem custos menores que os combustíveis fósseis, sendo foco de políticas como o PNEC 2030 e RNC 2050.

No Brasil, os resíduos agrícolas, como a biomassa do trigo, apresentam grande potencial energético devido à produção significativa e ao baixo custo de coleta (EPE, 2019). Essa biomassa não só é uma fonte alternativa de energia, mas também contribui para a geração de renda e desenvolvimento rural sustentável, criando empregos e melhorando a qualidade de vida nas comunidades agrícolas (Da Silva *et al*., 2024).

Nutricionalmente, o trigo é essencial para a alimentação global, sendo responsável por mais de 20% das calorias consumidas (Santos *et al*., 2023). Sua produtividade depende do manejo adequado de adubação nitrogenada, já que o nitrogênio é vital para a formação de proteínas e outros compostos essenciais (Marschner, 2012). O uso de doses adequadas de nitrogênio pode dobrar a produção de biomassa (Folchini *et al*., 2022).

Estudos indicam que tanto a adubação nitrogenada quanto o material genético influenciam significativamente o potencial energético da biomassa residual do trigo (Travi, 2024). O objetivo deste estudo foi avaliar como esses fatores afetam a qualidade e produtividade da biomassa, promovendo estratégias sustentáveis e eficientes no aproveitamento de resíduos agrícolas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois experimentos, o primeiro no município de Arapoti-PR, localizado nas coordenadas 24º11’48”S e 49º52’36”O, a uma altitude de 860 m; e o segundo em Ponta Grossa-PR, situado nas coordenadas 25º0’49,86”S e 50º9’0,54”O, a uma altitude de 975 m. O clima em Arapoti é o Cfa (Alvares *et al*., 2014) subtropical úmido e o solo do local do experimento é um Latossolo amarelo, com as seguintes características químicas na camada de 0 a 20 cm: P (resina) = 24 mg dm^{-3}; matéria orgânica (MO) = 26 g dm^{-3}. pH ($CaCl_2$) = 5,1; saturação por bases (V) = 45%; em $mmol_c$ dm^{-3} H+Al (SMP) = 34; Al = 0,0; K = 1,1; Ca = 19; Mg = 8. Em Ponta Grossa o clima é o Cfb (Alvares *et al*., 2014) temperado úmido e o solo do local do

experimento é um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco-argilo-arenosa, com as seguintes características químicas na camada de 0 a 20 cm: P (resina) = 49 mg dm^{-3}; matéria orgânica (MO) = 39 g dm^{-3}; pH ($CaCl_2$) = 5,6; saturação por bases (V) = 49%; em $mmol_c$ dm^{-3} H+Al (SMP) = 32; Al = <0,1; K = 2,1; Ca = 30; Mg =14.

Nos dois locais a implantação dos experimentos foi realizada em sucessão à cultura do milho. Para a semeadura foi utilizada uma semeadora adubadora com espaçamento de 0,17 m, objetivando uma população final de 300 plantas por metro quadrado. A adubação de semeadura foi realizada com 300 kg ha^{-1} do formulado 0-20-20. As parcelas (15 m²) foram dispostas em blocos ao acaso, com tratamentos em esquema fatorial combinando cinco doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha^{-1}) e três cultivares de trigo (Supera, Mirante e Quartzo), com quatro repetições. A fonte de nitrogênio foi nitrato de amônio, aplicado 30 kg ha^{-1} na semeadura e o restante em cobertura no perfilhamento. Foi aplicado o regulador de crescimento trinexapac-etil (0,45 L ha^{-1}) na fase de elongação, para prevenir acamamento.

A produtividade de grãos e de biomassa da parte aérea foi obtida com a colheita de 4 metros das 9 linhas centrais, corrigida a umidade de grãos para 13% de umidade. A biomassa total da parte aérea (excluídos os grãos) foi pesada, e subamostras foram separadas e secas para determinar a umidade e posterior biomassa seca. O índice de colheita (IC) foi calculado dividindo a produtividade de grãos pela soma da produtividade de grãos e biomassa seca.

As subamostras de biomassa, após serem secas, foram moídas em moinho de facas tipo Willey e analisadas quanto ao poder calorífico. Para as análises seguiu-se a norma ASTM E-711 87 (2009) e ISO 1928 (2009) onde 0,5 g do material moído e previamente seco a 60º C por 24 horas foi levado a uma bomba calorimétrica adiabática IKA WERKE modelo C5000 para determinação do poder calorífico superior (PCS). O potencial energético foi calculado através da fórmula: E=PCS/C1*C2*BS, onde, E refere-se a queima da biomassa (kWh ha^{-1}); PCS (Kcal kg^{-1}); C1 coeficiente para transformar a unidade Kcal para kWh (1 kWh = 860 Kcal) (Ministério de Minas e Energia, 2024); C2 eficiência média das caldeiras igual a 20% e BS – biomassa seca do trigo (kg ha^{-1}). O teor de cinzas foi determinado queimando 1 g de biomassa seca a 500°C por 3 horas em mufla. Os nutrientes foram extraídos com HCl 3 mol L^{-1} e analisados: P (espectrofotômetro UV-VIS), K (fotômetro de chama), Ca e Mg (espectroscopia de absorção atômica). O C-total e N-total foram determinados por combustão via seca no aparelho VARIO EL III.

Os dados obtidos foram testados quanto a sua homogeneidade pelo teste de Bartlett e posteriormente submetidos à análise de variância. Em caso de significância, as cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância e os efeitos das doses de N foram avaliados por regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de grãos de trigo foi semelhante entre as cultivares em Arapoti e Ponta Grossa, sem interação significativa com as doses de nitrogênio. Em Arapoti, a dose que proporcionou a máxima produtividade média foi de 182 kg ha^{-1} de N, com 4094 kg ha^{-1} de grãos, enquanto em Ponta Grossa, foi de 123 kg ha^{-1}, resultando em 5256 kg ha^{-1}.. Scherer *et al*. (2023) obtiveram como dose de máxima 150 kg ha^{-1} com 4500 kg ha^{-1}, reforçando a correlação positiva entre N e produtividade.

A produtividade máxima de biomassa em Arapoti não foi alcançada com a aplicação de 160 kg ha^{-1} de N, enquanto em Ponta Grossa, com 89 kg ha^{-1} obteve-se a maior produtividade, 2466 kg ha^{-1}, sendo que 36,10 kg de N ha^{-1} resultaram na produção de uma tonelada de biomassa, destacando a importância do N (Mattuella *et al*., 2018). A cultivar Supera foi a mais produtiva em biomassa, com 1665 kg ha^{-1} em Arapoti e 2226 kg ha^{-1} em Ponta Grossa, consequentemente resultando no menor índice de colheita, evidenciando a importância do genótipo e da adubação (Batista *et al*., 2020).

Em Arapoti, o índice de colheita (IC) aumentou nas doses altas de nitrogênio, enquanto em Ponta Grossa, foi reduzido pelo aumento de 30% na produtividade de grãos e 89% na de biomassa. Cada kg de

nitrogênio gerou, em média, 10,1 kg de biomassa e 11,7 kg de grãos. Os ICs foram superiores aos relatados por Silva e Pires (2017), Guedes *et al*. (2021) e Porker *et al*. (2020). O clima úmido no Sul do Brasil reduz os índices de colheita devido às práticas agrícolas locais (Fernandes, 2021). A cultivar Supera destacou-se em grãos e biomassa em Arapoti, enquanto em Ponta Grossa, a Quartzo foi melhor em grãos, e a Supera, em ambos.

O teor de cinzas da biomassa do trigo variou de 1,19% a 5,13% em Arapoti, sendo maior na cultivar Supera. Em Ponta Grossa, a Supera também apresentou os maiores valores, superando os 0,69% de Antunes (2022) e os 0,40% a 0,83% de Ferreira *et al*. (2020). Altos teores de cinzas diminuem a eficiência energética e a qualidade dos produtos, sendo essencial monitorá-lo para processos mais sustentáveis (Bianchessi, 2024; Belini, 2022).

Nos dois locais dos experimentos, os teores de fósforo e potássio na biomassa diminuíram com o aumento das doses de N. O potássio em Arapoti reduziu de cerca de 40%, de 50,49 g kg^{-1} sem N para 30 g kg^{-1} na dose máxima. Travi *et al*. (2024) não observaram interação significativa entre nitrogênio e potássio.

Em Arapoti, o cálcio aumentou com mais nitrogênio, e em Ponta Grossa, as cultivares Quartzo e Supera atingiram 1,2 g kg^{-1} e 0,8 g kg^{-1} de magnésio, respectivamente. O acúmulo de nutrientes seguiu K > N > Ca ≥ Mg > P. O potencial energético dobrou com o nitrogênio, sem alteração no poder calorífico.

Considerando a dose que proporcionou a maior produtividade de grãos em Arapoti (182 kg N ha^{-1}), o potencial energético da biomassa residual é de 1742,32 kWh ha^{-1}. Em Ponta Grossa, com os 89 kg N ha^{-1}, poderia ser gerado com a biomassa residual, 2466 kg ha^{-1}. A cultivar Supera apresentou maior potencial energético (1692 kWh ha^{-1} em Arapoti e 2261 kWh ha^{-1} em Ponta Grossa) devido à maior produtividade de biomassa, apesar do menor PCS. Já a Mirante, com maior PCS, teve menor potencial energético pela baixa produtividade de biomassa. O potencial energético da biomassa de trigo (>1100 kWh ha^{-1}) é similar ao da palha de arroz (1190 kWh ha^{-1}), mas inferior ao bagaço de cana (18200 kWh ha^{-1}), casca (6300 kWh ha^{-1}) e madeira de eucalipto (65300 kWh ha^{-1}) (EMBRAPA, 2023).

A produção de energia a partir da biomassa do trigo não compete com a produção de alimentos, podendo ser um destino nobre para esse material. A produtividade de biomassa aumenta junto com a de grãos, e o investimento em adubação nitrogenada resulta em maiores rendimentos tanto para a palha quanto para os grãos.

CONCLUSÕES

A adubação com N aumentou a produtividade de grãos, biomassa e o potencial energético do trigo;

Os materiais genéticos (cultivar) de trigo variam quanto ao potencial energético da biomassa residual, devido a diferença na produtividade de biomassa e no poder calorífico;

O potássio é o nutriente mais acumulado pela biomassa do trigo, o que deve ser considerado na análise econômica do uso desse material para produção de energia.

AGRADECIMENTOS

À UFPR e a Capes pelo apoio financeiro, bem como ao professor Volnei Pauletti pela oportunidade e contínuo apoio.

BIBLIOGRAFIA

ANTUNES, P. I. C. Desenvolvimento e caracterização de um blend de farinhas para panificação fortificado em ácido fólico e ferro por microencapsulação. 2022. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências da Terra) - Universidade Nova de Lisboa, Nova School of Science & Technology, Lisboa, 2022.

BELINI, G. B. Cinzas de caldeira de biomassa: caracterização, diagnóstico e alternativa para aplicação. 2022. 165 f. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

BIANCHESSI, C. Ensaios nas ciências ambientais e agrárias: pesquisa, desafios e perspectivas – vol. 4. 1. ed. Curitiba-PR: Editora Bagai, 2024. 109 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Soluções inovadoras, transição energética da indústria brasileira. Embrapa, 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: 28 dez. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Informe Técnico Série SIEnergia: Potencial Energético dos Resíduos Agropecuários. EPE-DEA-IT-006/2019. 23 out. 2019. Governo Federal, Ministério de Minas e Energia (MME).

FERNANDES, V. R.; CUNHA, A. P. M. A.; PINEDA, L. A. C.; LEAL, K. R. D.; COSTA, L. C. O.; BROEDEL, E.; FRANÇA, D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais/CEMADEN. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 28. 2021.

FERREIRA, E. G.; CARVALHO, P. T.; PEDRÃO, M. R.; DIAS, L. F. Estudo para estabelecer os parâmetros de relação entre o teor de cinzas e a colorimetria na farinha de trigo. *In:* FERREIRA, E. G.; CARVALHO, P. T.; PEDRÃO, M. R.; DIAS, L. F. (Org.). Tópicos em Ciências e Tecnologia de Alimentos: Resultados de Pesquisas Acadêmicas - Volume 5. Ponta Grossa: Editora Científica Digital, 2020. p. 447-466.

FOLCHINI, J. A.; SILVEIRA, D. C.; SCHAEFFER, A. H.; FONTANELI, R. S.; BONDAN, C. D. Doses de nitrogênio na produção de pré-secado e grãos de trigo duplo propósito para nutrição animal. Research, Society and Development, v. 11, n. 14, e219111436335, 2022.

GODIBO, D. J. Review of sustainability of “sustainable” energy use: Historical evidence on the relationship between economic growth and renewable energy. Journal of Energy Technologies and Policy, 2019.

GUEDES, P. O. A. S.; SILVA, T. J. A.; CANEPPELE, C.; DOURADO, L. G. A.; CASTAÑON, T. H. F. M. O trigo do Cerrado brasileiro sob cinco restrições hídricas. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.10, p.47-55, 2021.

MARSCHNER, P. Marschner´s mineral nutrition of higher plants. 3. ed. New York: Academic Press, 2012. 651 p.

MATTUELLA, D.; SIMIONI, S. P.; SEGATTO, C.; CIGEL, C.; ADAMS, C. R.; KLEIN, C.; LAJÚS, C. R.; SORDI, A. Eficiência agronômica da cultura do trigo submetida a doses de nitrogênio em diferentes estádios ontogênicos. Revista Ciência Agrícola, Maceió, v. 16, n. 3, p. 1-9, 2018.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE E DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA. Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). Lisboa: Ministério do Ambiente e da Transição Energética, 2019. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_PT-22-09-2019.pdf. Acesso em: 23 dez. 2024.

PORKER, K.; STRAIGHT, M.; HUNT, J. R. Evaluation of G × E × M interactions to increase harvest index and yield of early sown wheat. Frontiers in Plant Science, v. 11, p. 994, 2020.

SANTOS, Cesário Katiuscia; CARMINATTI CORRÊA, Lucimar Terezinha; OLIVEIRA BUENO, Maria Lacol de; RIBEIRO OLIVEIRA, Regina Célia dos Santos. Aproveitamento integral dos alimentos. Pindamonhangaba: Escola Técnica Estadual João Gomes de Araújo, 2023. Curso Técnico em Nutrição e Dietética.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de Azospirillum, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 631-638, out.-dez. 2017.

TRAVI, M. R. L.; PASIN, P. H.; SPEROTTO, M. E.; BORDIGNON, R. Produtividade e qualidade da pastagem de trigo (Triticum aestivum L.) submetida a adubação nitrogenada. Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio, 3, 234-256, 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO: NUTRIÇÃO DA SOJA, SAFRA 2023/2024

Yasmim Christine Conrado Barbieri[1*], Renata Alessandra Martins Borecki[2], Edson Lucas Camilo[3], Cristiano Andre Pott[4], Marcelo Marques Lopes Müller[4]

[1]Graduanda de Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), yasmimbarbieri@hotmail.com; [2]Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNICENTRO; [3]Pós-Doutorando da UNICENTRO, bolsista do Projeto NAPI-PROSOLO; [4]Professor de Solos do Departamento de Agronomia e do PPGA da UNICENTRO.

RESUMO

Soja é a espécie cultivada com a maior área agrícola no Brasil, convivendo majoritariamente com manejo sob sistema plantio direto (SPD), acompanhado de diferentes situações quanto a práticas de conservação de solo e água, que podem reduzir ou elevar o potencial produtivo da cultura no campo. Para avaliar práticas conservacionistas, implantou-se um estudo em Guarapuava-PR em 2019, com três macroparcelas em propriedade rural: SPD sem terraços (ST) – padrão do produtor; SPD com boas práticas de manejo (BPM), adicionando cultivo em nível e plantas de cobertura na rotação; e SPD com cultivo em nível e terraços (CT). As práticas conservacionistas adicionadas ao SPD melhoraram o status nutricional da soja na safra 2023/2024, após cerca de 5 anos de adoção.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*; plantio direto; conservação do solo e da água.

INTRODUÇÃO

A soja é a principal cultura agrícola do Brasil, destacando-se tanto pela grande produção quanto pela importância econômica. O país lidera a produção mundial de soja, com volume de 147,34 milhões de toneladas do grão estimados para a safra 2023/2024, chegando a 98,6 milhões de toneladas exportadas (Conab, 2024). Esse cenário reforça a importância de um manejo adequado da cultura e do solo dedicado a sua produção, sobretudo quanto à fertilidade para garantir produtividade e sustentabilidade da produção.

A conservação do solo é fundamental para a produção agrícola e controle de impactos ambientais. O manejo correto, com práticas que preservam a fertilidade do solo e evitam a degradação, é essencial para a estabilidade dos agroecossistemas. Nesse contexto, estratégias que favoreçam o bom aproveitamento dos nutrientes e o uso sustentável dos recursos são indispensáveis (Debiase *et al*., 2022; Passos *et al*., 2018).

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é um bom sistema de manejo quanto à fertilidade do solo e produção sustentável. Baseado em mobilização mínima do solo (só na linha de semeadura), manutenção da cobertura vegetal e diversificação das culturas, ele tem nas plantas de cobertura um grande diferencial na conservação do solo e potencial produtivo, promovendo ciclagem de nutrientes, aumentando a matéria orgânica do solo (MOS) e melhorando sua estrutura, o que impacta diretamente na infiltração de água no solo e na absorção de água nutrientes pela soja (Carvalho e Cherubim, 2022; Pacheco *et al*., 2013).

Considerando os impactos das práticas conservacionistas associadas ao SPD sobre a infiltração de água no solo e a ciclagem de nutrientes, a soja cultivada sob diferentes manejos nesse sistema pode apresentar variações na absorção de nutrientes. Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar os efeitos de diferentes estratégias de manejo em SPD sobre a nutrição mineral da soja na safra 2023/2024.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma propriedade localizada em Guarapuava-PR, onde, desde 2019, foram estabelecidas três macroparcelas (MP) de 1,1 ha cada, com três conjuntos de práticas de manejo em SPD. A MP-1 seguiu o padrão adotado pelo produtor, sem terraços (ST), com cultivo em desnível e pousio no outono. Na MP-2, foram aplicadas Boas Práticas de Manejo (BPM), incluindo cultivo em nível e adoção de plantas de cobertura na entressafra outonal. Na MP-3, o padrão do produtor foi alterado para cultivo em nível com

terraceamento (CT). As três MPs utilizam as mesmas práticas de calagem e adubação, manejo fitossanitário e rotação de culturas, entretanto BPM tem a adição de plantas de cobertura no outono.

Na safra 2023/2024, a soja (cv. Cromo, população 288.000 plantas ha^{-1}) foi cultivada conforme recomendações técnicas, adubada com 250 kg ha^{-1} de 00-25-25. Na fase de floração, foram coletados 10 trifólios em 31 pontos da grade amostral de cada macroparcela (total de 93 pontos). Após a coleta, as folhas foram enxaguadas, secas em estufa a 50 °C por 72 horas e moídas. O material foi submetido a digestões sulfúrica e nitroperclórica para determinar os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da UNICENTRO, seguindo os métodos descritos por Malavolta *et al*. (1997). A interpretação dos resultados seguiu os valores de referência para a soja no Paraná (NEPAR-SBCS, 2019).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, com cálculo do intervalo de confiança das médias para 95% de confiabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de N foram semelhantes entre os manejos, e todos apresentaram níveis acima da faixa de suficiência para a soja no Paraná, que é de 41-49 g kg^{-1} (NEPAR-SBCS, 2019), indicando alta disponibilidade do nutriente e que as práticas adotadas não tiveram impacto na disponibilidade e absorção de N pela cultura.

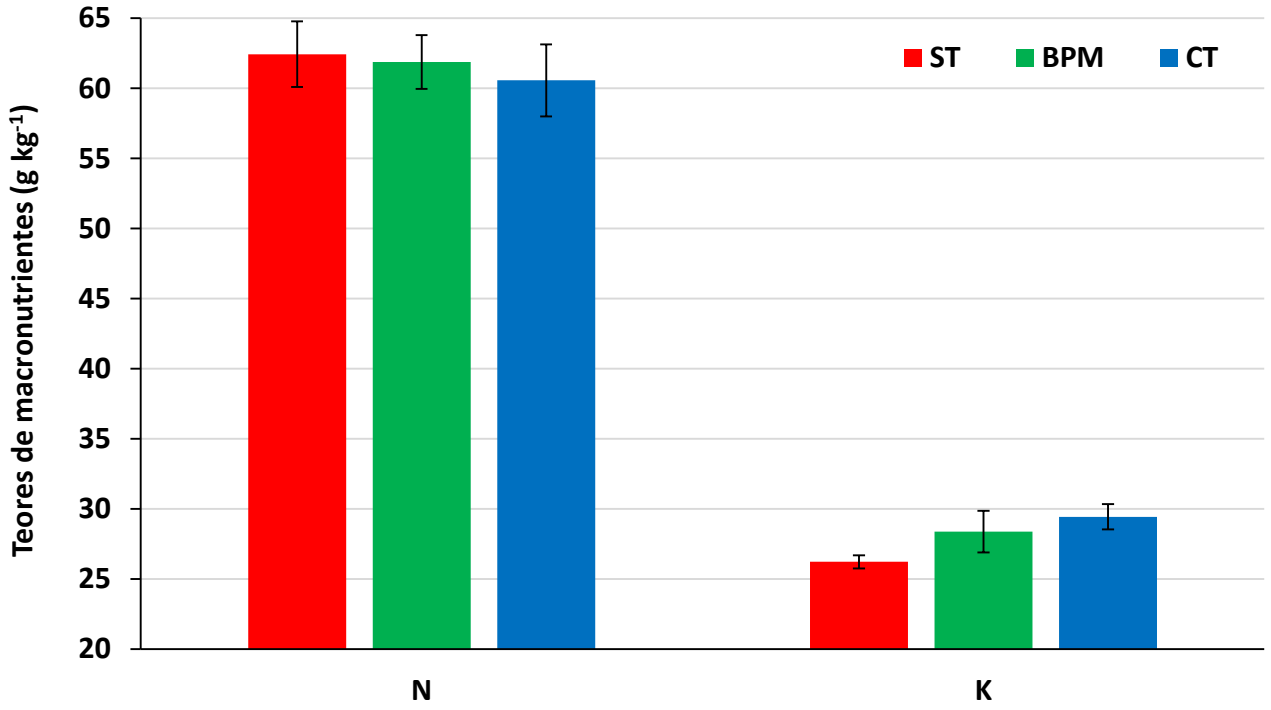


Figura 1. Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) nitrogênio (N) e potássio (K) em folhas de soja da safra 2023/2024, sob práticas de manejo em sistema plantio direto conduzidas desde 2019: ST – sem terraços (padrão do produtor); BMP – com cultivo em nível e plantas de cobertura no outono; CT – com terraços e cultivo em nível. *Barras de erro indicam o intervalo de confiança da média (n = 31) para 95% de confiabilidade.

O teor de K, por outro lado, se apresentou menor em CT do que em BPM e CT, sem diferenças entre os dois últimos, que superaram a faixa de suficiência de 22-27 g kg^{-1} para a soja (NEPAR-SBCS, 2019),

enquanto o ST permaneceu dentro da faixa indicada. Esse resultado pode estar relacionado ao maior acúmulo de biomassa das culturas ao longo dos anos, e à eficiência na ciclagem de nutrientes promovida pelas práticas conservacionistas (Carvalho & Cherubim, 2022) em comparação ao padrão regional ST. Na parcela BPM, a presença de plantas de cobertura no outono contribui para o aumento dos teores de MOS e para reciclagem de nutrientes, com possível efeito sobre K. Em CT, a conservação do solo diminui o escoamento superficial por meio do terraceamento, reduzindo as perdas e favorecendo a retenção de K^+ no perfil do solo (Passos *et al*., 2018), como já comprovados por análises químicas (outro estudo), beneficiando a absorção das plantas.

Para o fósforo (P), os teores foram equivalentes entre os manejos. O teor em ST ficou dentro da faixa de suficiência para a soja, que é de 2,8-3,6 g kg^{-1} (NEPAR-SBCS, 2019), mas em BMP e CT os teores médios ficaram acima da suficiência, refletindo os maiores teores no solo sob as práticas conservacionistas (BMP e CT), sobretudo em BMP devido às plantas de cobertura (PC), favorecendo mais os teores no solo e a ciclagem para as culturas comerciais como a soja. Em CT, a vantagem na absorção dos nutrientes com o terraceamento se justifica pela mitigação da erosão, que melhora a infiltração e o estoque de água no solo (Passos *et al*., 2018), favorecendo os processos de absorção.

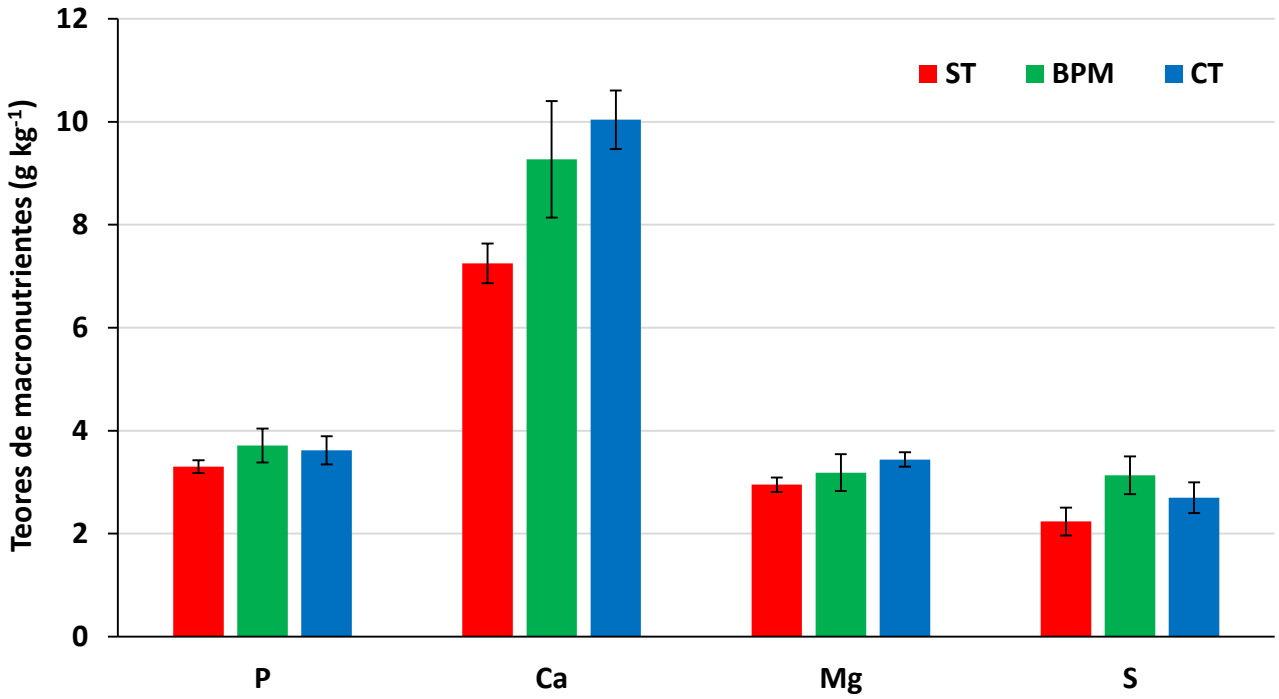


Figura 2. Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em folhas de soja da safra 2023/2024, sob práticas de manejo em sistema plantio direto conduzidas desde 2019: ST – sem terraços (padrão do produtor); BMP – com cultivo em nível e plantas de cobertura no outono; CT – com terraços e cultivo em nível. *Barras de erro indicam o intervalo de confiança da média (n = 31) para 95% de confiabilidade.

Os teores de Ca foram mais baixos em ST, ficando abaixo da faixa recomendada para a soja no Paraná (8-11 g/kg), enquanto BPM e CT apresentaram valores maiores, equivalentes entre si e adequados para a cultura (NEPAR-SBCS, 2019). Novamente, as práticas conservacionistas e as vantagens em termos de

reciclagem de nutrientes e menor escoamento superficial, com menores perdas, pode ter contribuído para a retenção do nutriente e sua disponibilidade ao longo do ciclo da soja.

No caso do Mg, apenas ST apresentou teor inferior ao intervalo recomendado para a soja de 3,0-4,8 g kg^{-1} (SBCS, 2019), e o teor médio em CT foi superior em comparação com ST. O mesmo ocorreu quanto aos teores de S, que permaneceram dentro da faixa recomendada para a soja no Paraná, de 2,5-3,5 g kg^{-1} (NEPAR-SBCS, 2019) nos manejos BPM e CT, enquanto em ST a média ficou abaixo disso. Esses resultados indicam vantagens na adoção das práticas conservacionistas, que após alguns anos começam a se refletir em benefícios à fertilidade do solo e à nutrição das culturas.

Apesar de os níveis de N terem permanecido acima da suficiência em todos os manejos, a menor disponibilidade de K, Ca, Mg e S no padrão do produtor em ST pode representar um fator limitante, que merece atenção pelo papel desses nutrientes no metabolismo da planta, com potencial efeito na produtividade, ou nos custos com fertilizantes e corretivos para compensar as diferenças observadas.

Esses resultados reforçam a importância das práticas de manejo conservacionistas, como o cultivo em nível, a adição de terraços e a adoção de plantas de cobertura, utilizadas no outono no presente caso, mas que podem ser adicionadas em outros momentos ou safras agrícolas no campo, que contribuem para a manutenção da disponibilidade nutrientes essenciais à cultura da soja.

CONCLUSÕES

As práticas conservacionistas adicionadas ao sistema plantio direto melhoraram o status nutricional da soja na safra 2023/2024, após cerca de 5 anos de adoção.

AGRADECIMENTOS

À FAPA – Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, pela parceria na condução das lavouras no campo, à Cooperativa Agrária, pelo apoio junto aos produtores. À CAPES, CNPq, Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA), e SENAR/FAEP-PR, pelo fomento.

BIBLIOGRAFIA

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **12º Levantamento da safra brasileira de grãos: setembro/2023**. Brasília, 2023. Acesso em: 24 fev. 2025.

CARVALHO, Marta Lustosa; CHERUBIM, Maurício Roberto (Org.). **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2022. 126 p. ISBN 978-65-89722-15-1.

DEBIASE, H.; COSTA, J.E.; PEREIRA, J.C.; SOUZA, J.R.; PONCIO, O.; SIMÃO, G.; RODRIGUES, M.; AZEVEDO, A.F.; BALBINO, A. **Níveis de manejo do solo para avaliação de riscos climáticos na cultura da soja.** Londrina, PR: Embrapa Soja, 2022. 137 p. (Documento, Embrapa Soja; 447). ISSN 2176-2937.

PASSOS, A.M.A. dos; ALVARINGA, R.C.; SANTOS, F.C. dos. Sistema de plantio direto. *In:* NOBRE, M.M.; OLIVEIRA, E.R. (Ed.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implementação.** Brasília, DF: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. p. 62-105.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; MADARI, B. M.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1173-1184, set. 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000900006.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUTIVIDADE ACUMULADA DA SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO SOB PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Priscila Schmidt Stelle[1*], Edson Lucas Camilo[2], Renata Alessandra Martins Borecki[3], Cristiano Andre Pott[4], Marcelo Marques Lopes Müller[4]

[1] Graduanda em Agronomia, Centro Universitário Campo Real. *prisstelle.engagronomica@gmail.com; [2]Pós-doutorando, Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO), bolsista NAPI-PROSOLO. [3] Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA)-UNICENTRO. [4] Professor do Departamento de Agronomia e PPGA-UNICENTRO.

RESUMO

Soja ocupa uma grande área cultivada no Brasil, e a conservação de solo e água, além de evitar degradação ambiental, pode elevar a produtividade da cultura. Para avaliar práticas conservacionistas em sistema plantio direto (SPD), implantou-se um estudo em Guarapuava-PR, com três macroparcelas em propriedade rural: SPD sem terraços (ST) – padrão do produtor; SPD com boas práticas de manejo (BPM), adicionando cultivo em nível e plantas de cobertura na rotação; e SPD com cultivo em nível e terraços (CT). Com monitoramento desde 2019, observou-se que a mobilização do solo para construir terraços e o período de estiagem ocorrido resultaram em menores produtividades iniciais em CT e BMP, mas, posteriormente, a produtividade da soja tornou-se equivalente à observada em ST. A produtividade acumulada entre 2019 e 2024 foi maior em ST, intermediária em BPM e menor em CT, sendo necessário avaliar os manejos a longo prazo para melhor informar o produtor.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*; adubos verdes; terraços.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma cultura de grande importância econômica para o Brasil e o mundo. Globalmente, a produção na safra 2023/2024 foi de 395,91 milhões de toneladas, e aproximadamente 37% desse volume (147,35 milhões de toneladas) é oriundo do Brasil, onde ocupa área cultivada de 45,98 milhões de hectares (Embrapa Soja, 2024).

Considerando a grande extensão territorial ocupada por essa espécie, a adoção de práticas conservacionistas em seu cultivo é indispensável para evitar a degradação das áreas agricultáveis, além de apresentar o potencial de aumentar, a longo prazo, a produtividade do grão. Há indícios de que as plantas de cobertura (PC) na rotação afetam positivamente a morfologia da soja (Guimarães *et al*., 2025) e a sua produtividade (Cardoso *et al*., 2014) por meio de melhorias nos atributos químicos do solo, na estrutura do solo, e estímulo ao desenvolvimento de sua biota. O terraceamento, por sua vez, controla os efeitos deletérios da erosão hídrica, promove o acúmulo de água e reduz as perdas de nutrientes do solo (Ramos *et al*., 2023), o que pode exercer efeito positivo na produtividade das culturas agrícolas.

A adoção de práticas conservacionistas promove efeitos benéficos, a longo prazo, na qualidade física, química e biológica dos solos. Assim, supõe-se que seus efeitos positivos são perceptíveis ao longo dos anos após sua implementação. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a produtividade acumulada da soja após cinco anos de adoção de diferentes práticas de manejo em área sob sistema plantio direto (SPD).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo fica no Distrito de Entre Rios, município de Guarapuava-PR, onde se realiza o projeto "Manejo e Conservação do Solo e da Água na Região Centro-Sul do Paraná", parte da Rede de Agropesquisa em Conservação de Solo e Água do Paraná (SENAR/FA), atual NAPI-PROSOLO. Em 2019, foram instaladas três macroparcelas com 1,1 ha cada (65 m x 165 m), em uma propriedade rural manejada sob SPD (Figura 1).

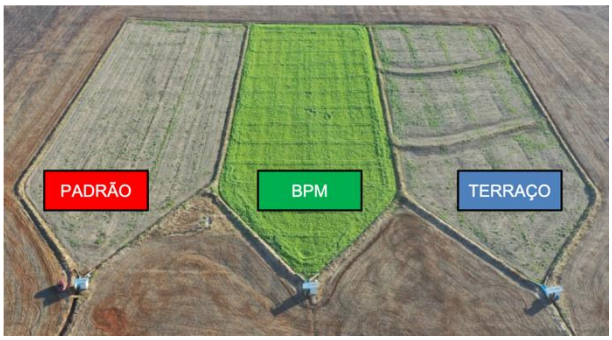


Figura 1. Vista aérea das macroparcelas no campo durante entressafra de outono: à esquerda o sistema plantio direto (SPD) no padrão do produtor, sem terraços e que representa a realidade da região; ao centro o SPD com adição de boas práticas de manejo (BPM), com plantas de cobertura no outono; e à direita o SPD com adição de terraços.

Na primeira macroparcela (ST), manteve-se o SPD no manejo padrão dos produtores da região, sem terraços, cultivo na direção que permite maior distância entre manobras com as máquinas (no caso, sentido morro abaixo), e pousio outonal. Na segunda macroparcela (BPM), adotou-se mecanização em nível e cultivo de plantas de cobertura (PC) no período de entressafra outonal. Na terceira macroparcela (CT) possui terraceamento e mecanização em nível, com ausência de cultivo no período de entressafra outonal.

Cada macroparcela inclui uma grade com 31 pontos amostrais distribuídos em equidistância (total de 93 pontos). A semeadura da soja foi realizada nas safras 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2023/2024 conforme o zoneamento da região e seguindo todos os tratos culturais recomendados para a cultura. A avaliação de produtividade foi realizada com colhedora de parcelas automotriz em 8 m^2 por ponto amostral, sendo o peso dos grãos corrigido para umidade de 13%. Para a produtividade acumulada de soja, somaram-se as produtividades obtidas nas diferentes safras nos respectivos pontos amostrais.

Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva utilizando o *software* Excel, sendo as produtividades médias comparadas por meio do erro padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade da soja (kg ha^{-1}) nas safras de 2019 a 2024 nas macroparcelas está na figura 2. Na safra 2019/2020, correspondente ao período inicial da pesquisa, ST apresentou maior produtividade, seguida de BPM, observando-se a menor produtividade em CT. A construção dos terraços em CT gerou revolvimento do solo e tráfego de máquinas agrícolas, causando prejuízo à estrutura física do solo e podendo levar a inversão de camadas, sendo que o solo da subsuperfície, de menor fertilidade, acaba sendo trazido para a superfície (Deng *et al*., 2021), e isso pode explicar a menor produtividade inicial em CT.

Na safra 2020/21, todas as macroparcelas apresentaram produtividade abaixo da média nacional, que foi de 3.525 kg ha^{-1} (Conab, 2025). A queda na produtividade em todos os tratamentos se relaciona, principalmente, ao período de seca e irregularidade de chuvas que afetou o Estado do Paraná, que declarou emergência hídrica (Paraná, 2021). Os efeitos dessa estiagem prolongada podem explicar a menor produtividade observada em BPM, pois as PC cultivadas no outono, ao absorverem a água armazenada no solo, podem ter agravado o déficit hídrico para a soja sucessora, e a estrutura do solo prejudicada pelo tráfego de máquinas em CT também representou impacto negativo para a soja.

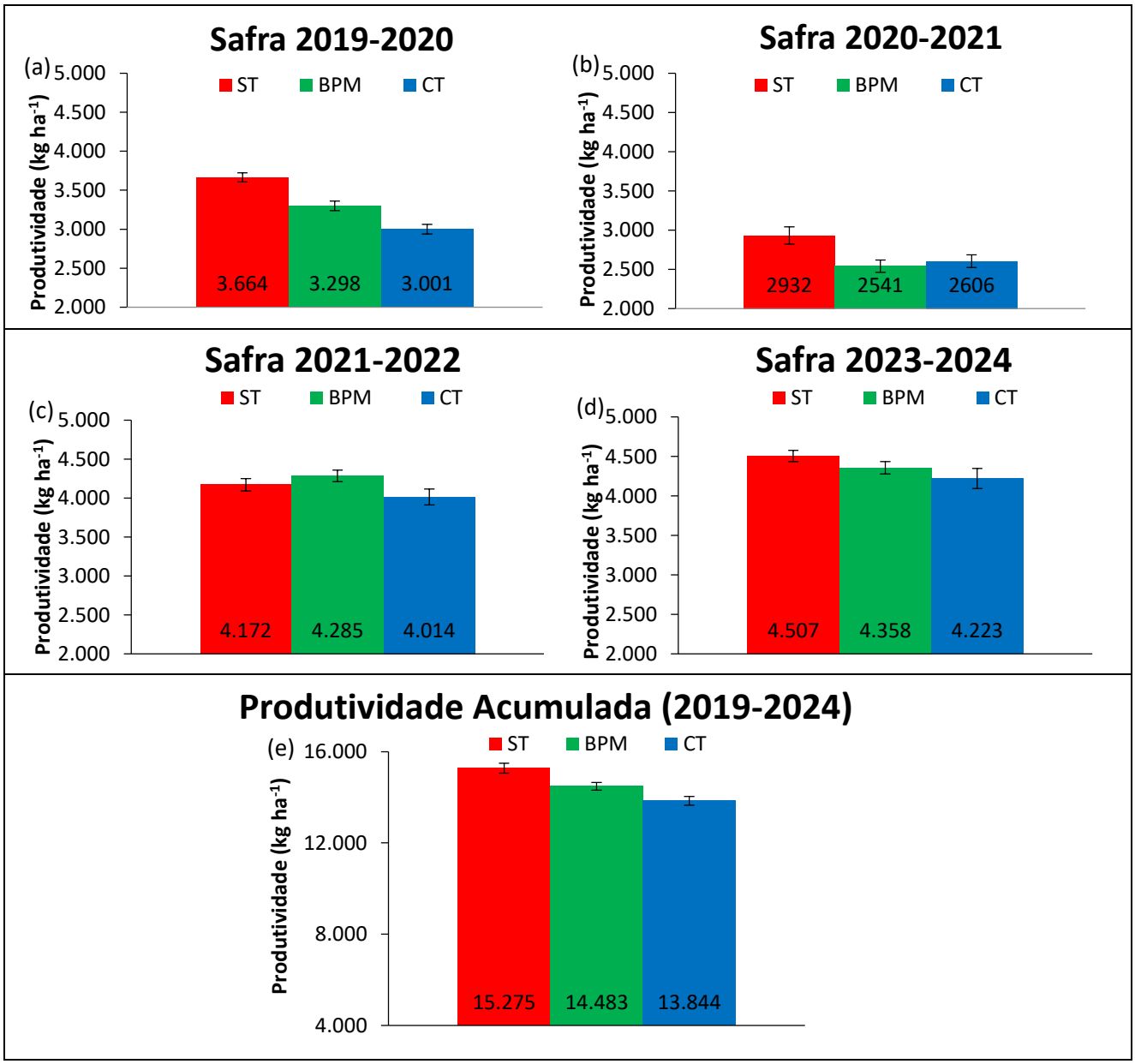


Figura 2. Produtividade de soja em Guarapuava-PR sob práticas conservacionistas em sistema plantio direto: sem terraços (ST), com boas práticas de manejo (BPM) e com terraços (CT), na safra inicial de 2019/2020 (a), e depois em 2020/2021 (b), 2021/2022 (c), 2023/2024 (d) e produtividade acumulada entre 2019-2024 (e).

Nas safras seguintes, intercaladas pela safra de milho de 2022/2023, a produtividade média da soja nas parcelas foi de 3.026 kg ha^{-1} em 2021/2022 e 3.201 kg ha^{-1} em 2023/2024, acima das respectivas médias nacionais (Conab, 2025), indicando normalização das chuvas e melhores condições. As produtividades observadas, no entanto, ficaram abaixo dos valores encontrados por Guimarães *et al*. (2025), que variaram de 4.290,81 a 4.855,79 kg ha^{-1} para soja intercalada com PC em Latossolo Vermelho de Minas Gerais. Já Deretti *et al*. (2022) obtiveram produtividade média de 5.304 kg ha^{-1} para a cultivar BMX Zeus IPRO, em condições edafoclimáticas semelhantes às do presente estudo, o que indica que há possibilidade de aumento do teto produtivo na área de estudo, sobretudo após calagem e correção da fertilidade do solo em detalhes.

Com base nos resultados anuais, a produtividade acumulada (2019-2024) da parcela ST foi maior, a parcela BPM se mostrou intermediária e a parcela CT foi a de menor produtividade, refletindo as condições

iniciais do estudo e as adversidades ocorridas e as características inerentes à fase de implantação das práticas avaliadas. Dessa forma, é necessário continuar monitorar as cultura e as propriedades do solo ao longo dos anos, visando avaliar corretamente as diferenças entre as práticas de manejo a longo prazo, e informar os produtores sobre o que esperar da adoção desses manejos em cada fase do processo de adaptação.

CONCLUSÕES

A produtividade inicial e acumulada se mostrou maior sob manejo SPD no padrão do produtor (ST), em decorrência de características das fases iniciais de adaptação do sistema solo/planta/atmosfera com as plantas de cobertura no outono (BMP) e com a construção dos terraços, sob efeito de variações climáticas que pode afetar a produção da soja. Nas últimas safras, a produtividade da cultura foi equivalente nos três manejos, portanto é necessário continuar o monitoramento para identificar as reais diferenças com o tempo.

AGRADECIMENTOS

À equipe dos Laboratórios de Solos e Nutrição de Plantas e de Física, Manejo e Conservação do Solo da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, pelo apoio. Ao financiamento da Fundação Araucária, do SENAR-FAEP, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil). À concessão de bolsa pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil), e à parceria da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA).

BIBLIOGRAFIA

CARDOSO, Ricardo Alves *et al*. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 35, n. 2, p. 51-60, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento safra brasileira de grãos – Safra 2024/25, 5º. levantamento. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v.12, n.5 -, p. 85-98, 2025. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em 08 mar. 2025.

DENG, C. *et al*. Advantages and disadvantages of terracing: A comprehensive review**. International soil and water conservation research**, v. 9, n. 3, p. 344-359, 2021.

DERETTI, A. F. H. *et al*. Resposta de cultivares de soja à redução na densidade de plantas no planalto norte catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 2, p. 123-136, 2022.

EMBRAPA SOJA. **Soja em números (safra 2023/24).** 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos. Acesso em 08 mar. 2025.

GUIMARÃES, N. N. *et al*. Produtividade da soja em sistema de cultivo intercalar com plantas de coberturas. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 2, p. e9005-e9005, 2025.

PARANÁ. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Prognóstico Agropecuário Soja 2021/2022. **Prognóstico Agropecuário Soja**, v. 13, n. 38, 2021. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-01/soja%20(2).pdf. Acesso em 07 mar. 2025.

RAMOS, J. C. *et al*. Estratégias de manejo do solo para mitigar os efeitos do déficit hídrico. **Agropecuária Catarinense**, v. 36, n. 3, p. 15-18, 2023.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE AVEIA EM SOLO ÁCIDO COM NÍVEL TÓXICO DE ALUMINIO

Isabelle Caroline de Almeida Stefanczak[1*], Josiane Cristina de Assis Aliança[2], Eduardo Fávero Caires[3], Tatiane Conceição Moreira da Silva[4], Djalma Cesar Clock[5]

[1] Mestranda em Ciência do Solo, Universidade Estadual de Ponta Grossa, e-mail: istefanczak@gmail.com. [2] Pesquisadora, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. [3] Professor Titular, Universidade Estadual de Ponta Grossa. [4] Doutorando, Universidade Estadual de Ponta Grossa, [5] Técnico, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná.

RESUMO

As plantas forrageiras são consideradas tolerantes às condições de acidez do solo. Objetivou-se avaliar a produtividade de aveia forrageira em solo ácido com nível tóxico de alumínio. O experimento foi realizado em Ponta Grossa-PR, em um Latossolo Vermelho com 0,8 e 1,0 $cmol_c\ dm^{-3}$ de Al^{3+} nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Cinco genótipos de aveia foram avaliados em um delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Foram realizados cortes sucessivos e avaliou-se a produção de matéria seca para forragem. Os dados foram submetidos à ANOVA e ao teste de Scott-Knott a 5%. Os resultados indicaram que a cultivares IPR Esmeralda (3849 kg ha^{-1}), IPR Suprema (2832 kg ha^{-1}), e a linhagem IDR 18 GUA CP (3502 kg ha^{-1}) foram as mais produtivas, enquanto as cultivares IAPAR 61 (2036 Kg ha^{-1}) e IPR CABOCLA (1459 kg ha^{-1}) foram as menos produtivas. Concluiu-se que os genótipos IPR Esmeralda, IPR Suprema e IDR 18 GUA CP apresentaram melhor desempenho produtivo em solo ácido com alumínio em nível tóxico.

PALAVRAS-CHAVE: acidez do solo; forragem; desenvolvimento de cultivares.

INTRODUÇÃO

O alumínio trocável (Al^{3+}) é um cátion presente em grande quantidade nos solos brasileiros devido a predominância de solos ácidos, especialmente nas regiões de clima tropical (Camargo e Furlani, 1989). O Al^{3+} em excesso prejudica o desenvolvimento radicular das plantas, resultando na redução do crescimento das raízes. Como consequência, o sistema radicular torna-se superficial, limitando a capacidade da planta em absorver água e nutrientes, o que compromete seu desenvolvimento e rendimento (Miguel *et al.*, 2010).

A adubação de pastagens não é amplamente difundida pelos produtores de gado (Otte, *et al.*, 2019), o que torna essencial que sejam estudados cultivares que apresentem boas produtividades em condições edáficas limitantes. Considerando a aveia (*Avena* sp.) um gênero de grande utilização na nutrição animal, com múltiplas possibilidades como o uso em rações, pastejo direto, produção de feno e silagem (Federizzi, *et al.*, 2014), seu estudo torna-se essencial à pesquisa com cultivares adaptadas.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a produtividade de cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) em solo com Al^{3+} em nível tóxico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Polo Regional de Pesquisa e Inovação do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), localizado na cidade de Ponta Grossa–PR, em um Latossolo Vermelho distrófico. Previamente à instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm em dez pontos aleatórios na área experimental, cujos resultados das análises químicas estão apresentados na Tabela 1.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas continham 4 m de comprimento com 6 linhas espaçadas em 0,20 m. Foram utilizados cinco cultivares de aveia, sendo três cultivares de aveia preta (IAPAR 61, IDR 18 GUA CP e IPR Cabocla), e duas de aveia branca (IPR Esmeralda e IPR Suprema). Os tratos culturais e o controle de pragas e doenças, ao longo do desenvolvimento da cultura, foram realizados conforme recomendação técnica da Comissão Brasileira de Pesquisa em Aveia (CBPA).

Tabela 1. Resultados de análises químicas do solo, em diferentes profundidades, antes da instalação do experimento. Ponta Grossa-PR, 2024.

Profundidade	pH ($CaCl_2$)	Al^{3+}	H+Al	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	P	V[1]	m[2]
cm	---------- $cmol_c\ dm^{-3}$ ----------						$mg\ dm^{-3}$	%	%
0–20	4,4	0,8	13,07	2,2	0,8	0,20	3,3	20	20
20–40	4,3	1,0	13,07	1,5	1,1	0,15	2,1	17	27

[1]V = saturação por bases. [2]m = saturação por Al^{3+}. Al^{3+}, Ca^{2+} e Mg^{2+}: extração com solução de cloreto de potássio (KCl). P: extração com solução de Melich-1.

Para avaliação, as plantas foram cortadas ao atingirem 30 cm de altura, em quatro linhas centrais de cada parcela para avaliação da produção de matéria seca, respeitando a altura de resíduo de 6 a 8 cm para possibilitar rebrote. Os cortes posteriores foram realizados quando as plantas atingiram 25 cm de altura. Após o corte, realizou-se pesagem do material verde e, posteriormente, esse foi colocado para secar em estufa de circulação de ar forçada a 60°C por 72 h para obtenção da massa seca.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade no software GENES (Cruz, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de matéria seca foi significativamente influenciada pelos tratamentos ($P < 0,01$). Os resultados mostraram que as cultivares de aveia IPR Esmeralda (3849 kg ha^{-1}), IDR 18 GUA CP (3502 kg ha^{-1}) e IPR Suprema (2832 kg ha^{-1}) foram as mais produtivas, enquanto as cultivares IAPAR 61 (2036 kg ha^{-1}) e IPR CABOCLA (1459 kg ha^{-1}) foram as menos produtivas (Tabela 2), considerando o nível tóxico de Al^{3+} no solo.

Tabela 2. Produtividade de matéria seca de cultivares de aveia crescidas em solo com nível tóxico de Al^{3+}. Ponta Grossa-PR, 2024.

Cultivar	Produtividade (kg ha^{-1})*
IPR Esmeralda	3849 a
IDR 18 GUA CP	3502 a
IPR Suprema	2832 a
IAPAR 61	2036 b
IPR Cabocla	1459 b

*Letras diferentes na mesma coluna indicam que as médias diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Em geral, as plantas forrageiras são consideradas tolerantes às condições de acidez do solo, entretanto a produtividade pode ser reduzida em solos com alto teor de Al^{3+} trocável, dependendo da tolerância dos genótipos (Santos e Martuscello, 2022). Mesmo materiais mais tolerantes podem apresentar redução na produtividade, dependendo do nível da toxicidade por Al^{3+} no solo. No presente estudo, o teor de Al^{3+} trocável no perfil do solo era alto (0,8 $cmol_c\ dm^{-3}$ na camada de 0-20 cm e 1,0 $cmol_c\ dm^{-3}$ na camada de 20-40 cm). Os valores médios de produtividade de matéria seca de aveia para a região Sul do Brasil obtidos no Ensaio Nacional de Aveia Forrageira em 2023 (Assis Aliança, 2024) foram de 4361 kg ha^{-1} para a IPR Esmeralda e 4935 kg ha^{-1} para a IPR Suprema. Esses genótipos foram os que apresentaram melhor performance no presente estudo em solo com teor tóxico de Al^{3+} trocável (Tabela 2), embora as produtividades tenham sido mais baixas do que no Ensaio Nacional.

As aveias pretas são consideradas rusticas, apresentando sistema radicular bastante desenvolvido, além de maior tolerância a pragas e doenças. Adicionalmente, espera-se maior desempenho produtivo das aveias pretas com o seu cultivo em solos com baixa fertilidade (Calegari, 2001). Entretanto, tal fato não foi observado no presente estudo, já que as cultivares IPR Cabocla e IAPAR 61 produziram menos matéria seca do que as aveias brancas (IPR Esmeralda e IPR Suprema (Tabela 2). Em contrapartida, produtividades mais altas das cultivares IPR Cabocla e IAPAR 61, de 3683 e 4704 kg ha^{-1}, respectivamente, foram obtidas no Ensaio Nacional de Aveia Forrageira em 2023 (Assis Aliança, 2024).

O melhor desempenho das aveias pretas foi obtido com a linhagem IDR 18 GUA CP, genótipo em pré-lançamento do IDR-Paraná (Tabela 2). No Ensaio Nacional de Aveia Forrageira em 2023 (Assis Aliança, 2024), a linhagem IDR 18 GUA CP apresentou produtividade de 3758 kg ha^{-1}, semelhante à obtida no presente estudo, mostrando ser um genótipo que, potencialmente, poderá ser indicado para cultivo em solos ácidos.

CONCLUSÕES

As cultivares de aveia branca IPR Esmeralda e IPR Suprema, e a linhagem de aveia preta IDR 18 GUA CP apresentaram maiores produtividades de forragem em solo com teor tóxico de Al^{3+} trocável, em relação às cultivares de aveia preta IAPAR 61 e IPR Cabocla. A cultivar IDR 18 GUA CP (pré-lançamento do IDR- Paraná) apresentou desempenho satisfatório em solo com alta acidez, representando potencial indicação de cultivo para solos com presença de Al^{3+} trocável em nível tóxico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR- Paraná) pelas contribuições para que o estudo ocorresse.

BIBLIOGRAFIA

ASSIS ALIANÇA, J. C.; FLARESSO, J. A.; OLIVEIRA, E.; HANISCH, A. L.; MASCHIETTO, E. H. G.; NUNES, P. A. A.; CARVALHO, I. Q.; RIBEIRO, G.; GALBEIRO, S. ENSAIO NACIONAL DE AVEIA DE COBERTURA DO SOLO DE 2021 AVALIAÇÃO CONJUNTA DE LINHAGENS. *In:* Resultados experimentais da XLIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. **Anais**...Porto Alegre (RS) URGS, 2024.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e plantas de cobertura como sustentáculo do sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Londrina, 2001. **Anais**. Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001.

CAMARGO, O. A.; FURLANI, P. R. Alumínio no solo: concentração, especiação e efeito no desenvolvimento radicular. *In:* SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, p.45-69. 1989.

CRUZ, C. D. **Programa Genes - Diversidade Genética**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, v. 1. p. 278, 2008.

FEDERIZZI, L.C. *et al*. Importância da cultura da aveia. *In:* LÂNGARO, N.C.; CARVALHO, I.Q. (Org.). **Indicações técnicas para a cultura da cultura da aveia**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2014. p.44-53.

MIGUEL, P. S.; GOMES, F. T.; DUARTE DA ROCHA, W. S.; MARTINS, C. E.; ANTUNES DE CARVALHO, C. OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, Juiz de Fora, 2010.

OTTE, J., PICA-CIAMARRA, U., & MORZARIA, S. A comparative overview of the livestock- Environment interactions in Asia and Sub-saharan Africa**. Frontiers in Veterinary Science**, v. 6, p. 1–13, 2019.

SANTOS, M. E. R.; MARTUSCELLO, J. A. **Seu dinheiro é capim: valorizando e manejando o pasto para gerar dinheiro**. São Paulo: Reino Editorial, 2022. 232 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PRODUTIVIDADE DE MILHO COM FONTES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA EM LATOSSOLO MUITO ARGILOSO

Jonatas Thiago Piva[1*], Gabriel Bressiani Deves[2], Mariana dos Santos Alves[2], Júlia Amélia Vivian Pinto[2], Claudia Aparecida Guginski-Piva[3]

[1] Professor do departamento de ciências agrárias, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão. *jonatas@utfpr.edu.br; [2]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão; [3]Professora do Instituto Federal do Paraná, campus Capanema.

RESUMO

A demanda de nitrogênio por culturas como o milho tornam essencial o manejo da adubação nitrogenada, incluindo a fonte, para maximizar a eficiência agronômica. Objetivou-se avaliar a produtividade de grãos da cultura do milho com diferentes fertilizantes nitrogenados. O experimento foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão-PR. O delineamento foi blocos ao acaso com cinco tratamentos: controle (sem adubação nitrogenada), ureia comum, ureia + NBPT, nitrato de amônio (100% da dose) e nitrato de amônio (70% da dose). A dose de N aplicada foi de 170 kg ha^{-1}. Todas as fontes de N testadas aumentaram a produtividade do milho em relação ao controle, com média de 13.700 kg ha^{-1}. A exceção foi o tratamento com 70% da dose de nitrato de amônio, que apresentou produtividade semelhante ao controle. A aplicação de 170 kg ha^{-1} de N em cobertura aumentou a produtividade do milho independentemente da fonte utilizada.

PALAVRAS-CHAVE: ureia comum; nitrato de amônio; NBPT; *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

O milho está entre os mais importantes cereais cultivados no mundo e no Brasil, sendo uma das culturas que mais evoluiu no país nas últimas décadas em termos tecnológicos, beneficiando desta forma também os agricultores, possibilitando maiores produtividades em menores áreas de cultivo (Conab, 2019).

Para obtenção de maiores produtividades nas culturas de grãos, principalmente no milho, uma das variáveis determinantes é o fornecimento de nutrientes no momento certo e na dose adequada, entre os quais têm ênfase o nitrogênio (N) (Malavolta, 2006). O N é um dos nutrientes absorvidos e requerido em maior quantidade pelas culturas, podendo assim, ser também o nutriente mais limitante para as mesmas (Amado *et al*., 2002).

Para que ocorra o suprimento adequado de N para as culturas, há a opção de inúmeros fertilizantes nitrogenados, sendo que a ureia é a principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil, devido principalmente ao fato de possuir alta concentração de N (45% de N) e menor preço por unidade de produto. Porém possui algumas desvantagens, como maiores índices de perdas por volatilização de amônia (NH_3), perdas por lixiviação de nitrato (NO_3-) (Civardi *et al*., 2011; Silva *et al*., 2012) e emissão de óxido nitroso (N_2O) (Piva, 2012). A perda de nitrogênio por volatilização de amônia para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência desse fertilizante aplicado sobre a superfície do solo. Em sistemas de plantio direto consolidado, as perdas podem chegar até 50% do N aplicado, influenciada por condições climáticas, coberturas do solo entre outros fatores, que possam favorecer a ação enzimática da uréase (Rocha *et al*., 2014).

No solo o N é um elemento móvel e muito dinâmico. Para obter níveis adequados de N, se faz necessário o fornecimento via mineral as culturas, pois os solos dificilmente fornecem as plantas todo o nutriente requerido durante seu ciclo. Contudo, os fertilizantes nitrogenados contribuem significativamente no custo de produção e estão sujeitos a perdas, conforme descrito acima, apresentando baixa eficiência

(~50%) e como visto são a principal fonte de óxido nitroso emitido para a atmosfera, sendo a agricultura responsável por quase 90% das emissões totais desse gás no Brasil.

Nesse sentido, torna-se essencial que o manejo da adubação nitrogenada, incluindo a fonte de N utilizada, atenda a demanda das plantas maximizando a eficiência agronômica do nitrogênio e minimizando os impactos ambientais com a redução de perdas e custo (Wallace *et al*., 2018). Desta maneira, vários produtos vêm sendo lançados no mercado com o intuito de amenizar essas perdas, sendo que alguns destes asseguram reduzi-las, melhorando a eficiência e gerando ganhos de produtividade, porém se faz necessário estudos a campo (regionalizados) abrangendo diferentes condições e por vários anos, para que se consiga aperfeiçoar as informações desses produtos, haja vista que além do custo, se manejados inadequadamente poderão causar impactos severos ao ambiente.

Assim, a hipótese é que fertilizantes nitrogenados com fontes de N na forma nítrica, minimizam as perdas possibilitando maior produtividade da cultura do milho. Sendo que, o objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade de grãos da cultura do milho com diferentes fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura sob sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo na safra agrícola 2023/2024, na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Francisco Beltrão – PR. Situada a uma Latitude 26º 05’ 05,37” S, Longitude 53º 05’ 27,64” O, estando a uma altitude média de 553 metros. O clima segundo a classificação de Koppen é classificado como Cfa subtropical, tendo uma precipitação média anual de 2048 mm e temperatura média anual do ar de 19 °C. O solo na área experimental é classificado como Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (77 % de argila) (Santos *et al*., 2018). A análise do solo na camada de 0,0 -0,20 m anterior a implantação do experimento está descrita da tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo na camada de 0,0 - 0,20 m, antes da implantação do experimento. UTFPR, Francisco Beltrão-PR.

MO[(1)]	pH	P[(2)]	$K^{+(2)}$	$Ca^{+2(3)}$	$Mg^{+2(3)}$	$Al^{+3(3)}$
g dm^{-3}	$CaCl_2$	mg dm^{-3}	----------$cmol_c$ dm^{-3}----------			
28,46	4,9	6,33	0,20	3,20	1,90	0,23

MO = Matéria orgânica; [(1)] Digestão úmida; [(2)] Mehlich-1. [(3)] KCl 1 mol L^{-1}; pH medido em solução de $CaCl_2$.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com 4 repetições. As parcelas possuíam dimensões de 32m² (4m x 8m). Foi aplicado a dose de nitrogênio de acordo com a produção esperada (10 t de milho) em cobertura (170 kg de N), quando a cultura estava no estádio entre V3-V4 de acordo com o manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (NEPAR, 2019).

Os tratamentos consistiram de diferentes fontes de adubação nitrogenada: (i) controle, sem adubação nitrogenada em cobertura, (ii) ureia comum, (iii) ureia mais inibidor de urease (NBPT), (iv) nitrato de amônio dose 100% e (v) nitrato de amônio dose 70 %.

A cultura do milho híbrido AG 1757 Pro4 foi implantada de forma mecanizada com uma semeadora/adubadora com espaçamento de 0,45 m, no dia 12 de setembro de 2023 e a colheita realizada em 23/01/2024. Foram utilizados 500 kg do adubo formulado 09-21-13 por hectare no momento do plantio. Todos os tratos culturais durante o desenvolvimento da cultura seguiram as recomendações técnicas da região.

Para a avaliação da produtividade foi colhida uma área útil, descartando as bordaduras em cada parcela. Após a mesma foi trilhada em uma trilhadora de grãos, sendo posterior pesado e transformado os dados para kg ha^{-1}, corrigindo a umidade para 13%.

Os dados de produtividade de grãos foram submetidos à análise de variância, quando significativas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey p < 0,05 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de milho foi superior ao controle quando da utilização das fontes de nitrogênio, sem diferenças significativas entre as mesmas, com média de 13700 kg ha^{-1} (Figura 1). Somente no tratamento com 70 % da dose de nitrato de amônio, ocorreu uma diminuição da produtividade, sendo semelhante ao controle (Figura 1).

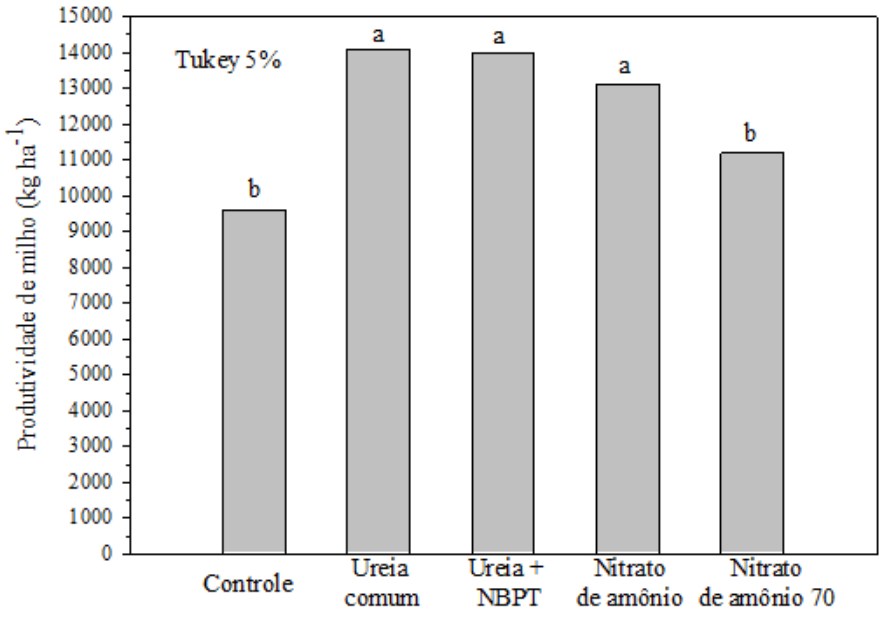


Figura 1. Produtividade de milho cultivado com diferentes fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura sob sistema plantio direto. Letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey p < 0,05 %.

Mesmo o controle obteve produtividades elevadas, 9593 kg ha^{-1}, isso se deve em parte pela disponibilidade de, aproximadamente 45 kg ha^{-1} de N, via adubação de base com a utilização do formulado 09-21-13 em todos os tratamentos, fornecendo parte do nitrogênio requerido pela planta, além de estimular a mineralização do N do solo da matéria orgânica.

Com relação as fontes analisadas os dados divergem de alguns trabalhos, onde a utilização de fontes nítricas (Gott *et al*., 2014), ou na forma amoniacal (Schiavinatti *et al*., 2011; Zucareli *et al*., 2014) obtiveram maiores rendimentos em relação a ureia comum. Já Besen *et al*. (2021) não observaram diferenças na produtividade de milho entre as fontes, com média de 10455 kg ha^{-1} em um Cambissolo no sul do Brasil, corroborando com os dados do presente estudo.

A aplicação de nitrogênio da dose de 170 kg ha^{-1} em cobertura no estádio V4, possibilitou que a cultura expressasse seu potencial produtivo aliado as condições climáticas, com boa regularidade de chuvas e temperaturas adequadas, favoreceram para que a cultura obtivesse média de produção bem superior ao alcançado no Brasil, na primeira safra.

CONCLUSÕES

A produtividade de milho foi superior ao controle, alcançando 13700 kg ha^{-1} com o uso de 170 kg ha^{-1} de N, não ocorrendo diferenças entre as fontes testadas. Somente a menor dose do nitrato de amônio, obteve produtividade semelhante ao controle.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Yara Fertilizantes, ao INCT-ABC - agricultura de baixa emissão de carbono, ao Grupo de pesquisa em Fertilidade e Manejo do Solo e a UTFPR-FB pelo apoio nessa pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de Adubação Nitrogenada para o Milho no RS e SC adaptada ao uso de Culturas de Cobertura do Solo, sob Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 241-248, 2002.

BESEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; MINATO, E. A.; BATISTA, M.A.; BAYER, C.; PIVA, J. T. Modelling of N_2O emissions from a maize crop after the application of enhanced-efficiency nitrogen fertilisers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 14, p. 1645–1656, 2021.

CIVARDI, E. A.; NETO, A. N. S.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de Liberação Lenta Aplicada Superficialmente e Ureia Comum Incorporada ao Solo No Rendimento do Milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p.52-59, 2011.

GOTT, R, M.; SICHOCKI, D.; AQUINO, L. A.; XAVIER, F. O.; DOS SANTOS, L. P. D.; DE AQUINO, R. F. B. A. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 24-34, 2014.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.

PIVA, J. T. **Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no sub-trópico brasileiro.** 2012. 92 p. Tese (Doutorado em Produção vegetal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

ROCHA, K. F.; CASSOL, L. C.; PIVA, J. T.; ARRUDA, J. H.; MINATO, E. A.; FAVERSANI, J. C. Épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho num latossolo vermelho muito argiloso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, p. 273-284, 2014.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de (2018) - **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5ª ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. p. 590.

SCHIAVINATT, A. F.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C. G. S.; PARIZ, C. M.; LODO, B. N.; BUZETT, S. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.925-930, 2011.

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 104-111, 2012.

ZUCARELI, C.; ALVES, G. B.; OLIVEIRA, M. A. de.; MACHADO, M. H. Desempenho agronômico do milho safrinha em resposta às épocas de aplicações e fontes de nitrogênio. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n.1, p. 60–67, 2014.

WALLACE, A. J.; ARMSTRONG, R. D.; HARRIS. R. H.; BELYAEVA, O. N.; GRACE, P. R.; PARTINGTON, D. L.; SCHEER, C. Fertiliser timing and use of inhibitors to reduce N_2O emissions of rainfed wheat in a semi-arid environment. **Nutrient Cycling Agroecosystem**, v. 112, p. 231–252, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

QUALIDADE DE GRÃOS DE MILHO SUBMETIDOS A APLICAÇÃO FOLIAR DE NITROGÊNIO EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO

Rayla Menezes D'Epiro[1*], Gabriela Machineski da Silva[2], João Pedro Chacon Pereira[3] ,João Tavares Filho[4], Luiz Henrique Campos de Almeida[5]

[1]Estudante de mestrado-UEL; [2]professora UEL; [3]estudante doutorado-UEL; [4,5]professor-UEL; * E-mail: rayla.mdepiro8@gmail.com

RESUMO

A complementação nutricional nitrogenada é essencial para a produtividade e qualidade do milho (*Zea mays* L.), influenciando diretamente o teor de amido, proteínas e rendimento da cultura. Este estudo avaliou a aplicação foliar de nitrogênio em diferentes estágios fenológicos e doses para determinar seus efeitos sobre a qualidade dos grãos. Foram conduzidos dois experimentos de campo em Pedrinhas Paulista-SP, em blocos casualizados, com diferentes doses de nitrogênio (0 a 12,5 L ha^{-1}). As variáveis analisadas incluíram produtividade, peso de mil grãos (PMG), teor de nitrogênio no grão e na folha. A análise de componentes principais indicou que a aplicação de N na fase vegetativa (V4) resultou em maior eficiência na absorção e produtividade. A correlação entre N foliar e produtividade foi significativa, demonstrando que a suplementação foliar pode ser uma estratégia viável para otimizar o manejo da adubação nitrogenada no milho.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L.*;* nitrogênio foliar; produtividade; nutrição de plantas.

INTRODUÇÃO

O milho (Zea mays L.) é uma das culturas mais importantes mundialmente, com papel fundamental na segurança alimentar, alimentação animal e biocombustíveis. O Brasil é o segundo maior produtor global, com destaque para a "safrinha", sistema que aumenta a eficiência do uso da terra. A nutrição nitrogenada é um dos principais fatores que influenciam o rendimento e a qualidade dos grãos, sendo essencial para a formação de proteínas e a fotossíntese. A aplicação foliar de nitrogênio pode ser uma estratégia eficiente para suprir a demanda da cultura e minimizar perdas por volatilização e lixiviação. Este estudo avaliou os efeitos da aplicação foliar de nitrogênio em diferentes doses e épocas de aplicação sobre a produtividade e qualidade dos grãos de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na fazenda Nova Esperança, Pedrinhas Paulista-SP, em Latossolo Vermelho. As coordenadas geográficas da área experimental são 22,77926° S e 50,68426° O, com altitude de 358 metros. O clima da região é classificado como Cfa (subtropical úmido) com temperatura média anual de 22,1°C e pluviosidade anual de 1273 mm. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com três repetições.

Foram conduzidos três experimentos de campo. O primeiro avaliou a aplicação foliar de nitrogênio nas fases V4 e R1 em doses de 0, 5 e 10 L ha^{-1}. O segundo utilizou um esquema fatorial 2x4, com doses variando entre 0 e 10 L ha^{-1}, e o terceiro, um fatorial 2x6, com doses de até 12,5 L ha^{-1}. O fertilizante aplicado foi um composto de ureia formaldeído com substâncias húmicas (340 g i.a. L^{-1}). A cultura utilizada foi o híbrido AG 8701 PRO4, semeado em espaçamento de 0,45 m entre linhas.

As parcelas foram colhidas após a maturação fisiológica e secagem natural. Foram coletadas amostras para análise de peso de mil grãos (PMG), teor de nitrogênio nas folhas e nos grãos e produtividade corrigida para 13% de umidade. As determinações de nitrogênio seguiram os métodos de Kjeldahl . A análise estatística incluiu testes de normalidade (Shapiro-Wilk), homogeneidade (Bartlett), ANOVA, regressão e análise de componentes principais (PCA), utilizando o software R e o pacote AgroR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Análise de Componentes Principais (PCA) (Gráfico 1) aplicada aos tratamentos de nitrogênio revela padrões importantes sobre o comportamento das variáveis analisadas, como nitrogênio na folha (N Folha), nitrogênio no grão (N Grão), produtividade (PROD) e peso médio de grãos (PMG). No gráfico de scores, que mostra a disposição dos tratamentos ao longo dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), observam-se diferentes respostas dos tratamentos com base nas épocas de aplicação (vegetativa ou reprodutiva) e nos anos agrícolas (2023 e 2024). Tratamentos como C23 (controle em 2023) e R23 (aplicação no reprodutivo em 2023) se destacam por apresentar respostas diferentes das demais, enquanto os tratamentos realizados em 2024 (R24 e V24) mostram maior similaridade entre si, sugerindo que nesse ano a aplicação de nitrogênio resultou em respostas mais uniformes.

O gráfico de loadings revela que as variáveis N Folha e Produtividade (PROD) estão mais fortemente associadas ao PC2, indicando que essas variáveis explicam uma maior parte da variação ao longo desse componente. Por outro lado, o PMG está mais relacionado ao PC1, sugerindo que ele tem uma influência significativa na variação capturada por esse eixo. O N no Grão apresenta uma contribuição moderada, posicionando-se mais próximo da origem.

A análise geral indica que o manejo das doses de nitrogênio afeta de maneira distinta as variáveis avaliadas. Em particular, N Folha e Produtividade são os fatores mais sensíveis às variações de aplicação de nitrogênio, enquanto o PMG apresenta uma variação associada ao PC1. Esse comportamento sugere que a otimização das práticas de manejo do nitrogênio pode melhorar o desempenho da cultura, ajustando-se as doses e épocas de aplicação para maximizar os benefícios no crescimento e produtividade do milho.

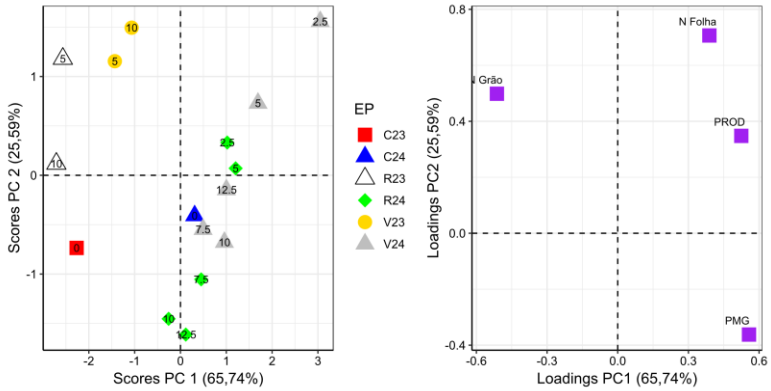


Gráfico 1. Análise de componentes principais (PCA) dos dados obtidos nos três ambientes de cultivo, Milho 2023 e Milho 2024. Legenda: PC1= Componente principal 1; PC2= Componente principal 2; C= Controle, V= aplicação no vegetativo; R= aplicação no reprodutivo; 23= Safra 2023; 24= Safra 24; PMG = Peso Médio de Mil Grãos; PROD = Produtividade; N Grão = Teor de N nos Grãos; N Folha = Teor de N nas Folhas.

Os gráficos 2-A, 2-B e 2-C demonstram como as doses de nitrogênio influenciam o acúmulo de nitrogênio nos grãos, nas folhas e a produtividade. No gráfico 2-A, observa-se que o aumento das doses de nitrogênio está associado a uma redução no teor de nitrogênio nos grãos, conforme a curva de ajuste quadrático (R^2 = 0,89), indicando que o teor de N nos grãos diminui de aproximadamente 15 para 12 kg g^{-1} à medida que as doses aumentam. Esses resultados sugerem que doses mais altas de nitrogênio não resultam em maior acúmulo de N nos grãos e, portanto, precisam ser ajustadas para otimizar o manejo.

No gráfico 2-B, o efeito das doses de nitrogênio nas folhas varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta. No estágio vegetativo (V4), o teor de N nas folhas aumenta até certo ponto com o aumento das doses, enquanto no estágio reprodutivo (R1) ocorre uma diminuição contínua. Isso demonstra

que a resposta ao nitrogênio aplicado é mais eficiente no estágio V4, enquanto no R1 o acúmulo de N é menor, destacando a importância de ajustar as doses de nitrogênio conforme o estágio de desenvolvimento da planta para maximizar a absorção de N.

O gráfico 2-C revela a relação entre as doses de nitrogênio e a produtividade. Doses de até 4 L ha^{-1} promovem um leve aumento na produtividade, atingindo um pico nessa faixa, mas doses mais elevadas resultam em uma redução na produtividade. A análise estatística indica uma relação significativa entre as variáveis (p-valor = 0,036), com um coeficiente de variação moderado (CV = 14,71%), sugerindo uma variação aceitável nos dados experimentais. Esses resultados indicam que doses excessivas de nitrogênio não são eficazes para aumentar a produtividade e podem até prejudicá-la, reforçando a necessidade de um manejo mais cuidadoso do nitrogênio para otimizar o desempenho da cultura.

Portanto, os três gráficos destacam que o manejo de nitrogênio deve ser ajustado de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta e a dose ideal para maximizar o acúmulo de nitrogênio nas folhas e grãos e otimizar a produtividade.

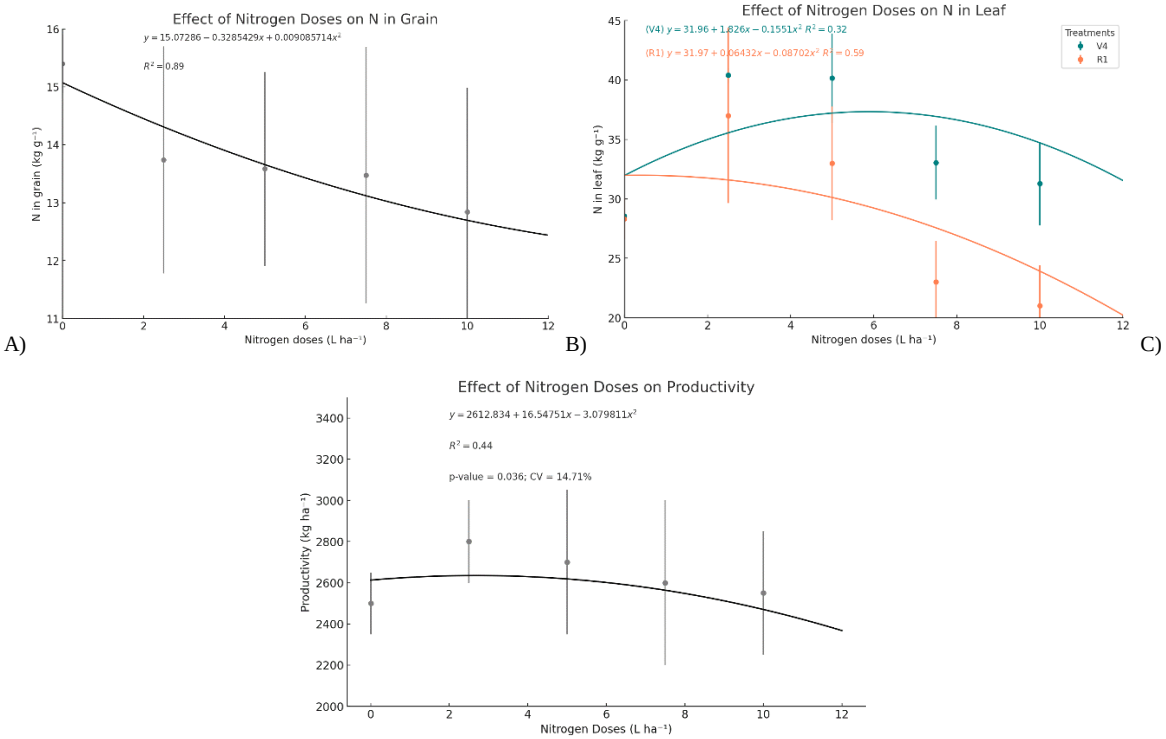


Gráfico 2. Análise de regressão dos efeitos das Doses de Nitrogênio sobre o Acúmulo de N no Grão, N nas Folhas e Produtividade de Milho

CONCLUSÕES

Doses superiores a 5 L ha^{-1} não trouxeram benefícios adicionais, resultando em acúmulo excessivo de N nas folhas e menor eficiência na redistribuição para os grãos.

A aplicação foliar de N na fase vegetativa (V4) foi a mais eficiente para otimizar a produtividade do milho, com a dose ótima identificada em 2,69 L ha^{-1}.

Esses resultados reforçam a necessidade de ajustar as doses para um manejo mais eficiente e sustentável. Futuros estudos devem explorar estratégias como a aplicação fracionada e fertilizantes de liberação controlada, visando maximizar a eficiência do N e reduzir impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Estadual de Londrina (UEL) pelo suporte na condução deste experimento.

BIBLIOGRAFIA

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A**. Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

SOUZA, R. O.; FERREIRA, R. A.; SILVA, G. R**.** Absorção e utilização de nitrogênio por plantas de milho sob diferentes doses de ureia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 5, p. 1-12, 2017.

SANGOI, L. A influência da densidade de plantas na produtividade do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 1, p. 01-07, 2002.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P**.** Manejo da adubação nitrogenada para a cultura do milho: eficiência e sustentabilidade. **Revista Plantio Direto**, v. 143, p. 10-15, 2014.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C**. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97-185, 2005.

GOMES, J. A.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ARF, O.; KAPPES, C. Manejo do nitrogênio na cultura do milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 591-603, 2007.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

REMINERALIZADORES EM SOLOS DE TEXTURA ARENOSA E ARGILOSOS

Antonio Carlos Saraiva da Costa[1*]
[1] Professor, Universidade Estadual de Maringá. antoniocscosta@gmail.com*

RESUMO

O comportamento de remineralizadores produzidos a partir da cominuição de rochas basálticas não apresenta o mesmo comportamento em solos de textura argilosa quando comparados com solos de textura arenosa. Os solos de textura argilosa possuem maior quantidade de cargas elétricas e reduzem o impacto da aplicação de remineralizadores quando comparados aos resultados analíticos de solos de textura mais arenosa. Os resultados analíticos mostram que o comportamento dos remineralizadores em solos de diferentes texturas é dependente dos atributos intrínsecos dos solos como textura, mineralogia da fração argila, matéria orgânica, etc.

PALAVRAS-CHAVE: pó de basalto; delta pH; pHPCZ; CTC; CTCe; complexos superficiais.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma grande diversidade de solos devido à grande diversidade de fatores de formação do solo. Os Latossolos são uma das classes predominantes no Brasil e estes solos apresentam alta taxa de intemperização, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), baixa disponibilidade de Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}, deficiência de P, altos teores de Al^{3+}, acidez elevada e baixa disponibilidade de nutrientes.

Deste modo é necessário a utilização de fertilizantes para aumentar a eficiência da produção agrícola. O uso excessivo de fertilizantes químicos solúveis produz um maior impacto no meio ambiente. Uma alternativa para complementação desses insumos é o uso de pó de rocha, que é um condicionador de solos natural, com solubilidade mais lenta, rico em macro e micronutrientes.

O pó de rocha é um subproduto de origem natural, sendo um resíduo da britagem e corte de rochas gerado como rejeito da atividade das mineradoras, constituindo assim, uma alternativa que apresenta vantagens ambientais, produtivas e econômicas aos agricultores e por isso vem sendo mais valorizado recentemente.

Este trabalho tem como objetivo avaliar as alterações na capacidade de troca catiônica, nos diferentes valores de pH e na distribuição de cargas de Latossolos após a aplicação de pó de rocha basáltica. Para se realizar tal pesquisa, foi realizado um experimento que foi conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Laboratório de Química e Mineralogia do solo e Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos – LQMS e LCRR da Universidade Estadual de Maringá (UEM) em dois Latossolos.

O pó de basalto usado, foi coletado na Pedreira Ingá Industria Ltda, que fica localizada no município de Maringá, Estado do Paraná. Nesse experimento foi aplicado o pó de basalto na granulometria filler (partículas < 0,3 mm), com o objetivo de acelerar o processo de solubilização do experimento em diferentes doses (0 a 100 t ha^{-1}). Após aplicação das doses e aplicação de água, os tratamentos puderam reagir e uma coleta de solo foi feita 92 dias após o início da incubação.

As seguintes características químicas foram avaliadas: pH em água, acidez potencial (H+Al), pH_{KCl}, pH_{H2O}, ΔpH, pH_{PCZ}, CTC e CTCe. A aplicação do pó de basalto, em ambos os solos, promoveu, redução na acidez trocável, potencial e aumento na CTCe e na CTC. A melhoria dos atributos químicos foi mais intensa no Latossolo Vermelho de textura média do que no Latossolo Vermelho de textura argilosa

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Laboratório de Mineralogia e Química do Solo-LMQS e Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos–LCRR da Universidade Estadual de Maringá. Foram utilizados 70 vasos, de 12L todos devidamente preenchidos com solos de duas classes texturais. Neste experimento foi utilizado o Horizontes A (0-20 cm) de dois solos de texturas

contrastantes, sendo um Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) de textura argilosa, e um Argissolo Vermelho Distrófico (PVd) de textura arenosa (Horizonte A).

Ambos solos foram amostrados em uma topo-litossequência derivada de misturas de basalto (LVdf) e arenito (PVd) no município de Amambaí, Mato Grosso do Sul. Foi coletada 1 tonelada de cada solo que foram secos ao ar e peneirados passando todo o material por peneira nº 10 ou 2mm. Foram separadas duas amostras de 0,5 kg de cada solo para determinação de seus atributos químicos e análise granulométrica conforme Teixeira *et al*. (2017).

O pó de rocha (PR) foi coletado em área de produção de brita na Pedreira Ingá, localizada no Município de Maringá-PR. Cerca de 250 kg de pó de rocha foi trazido ao LCRR-LMQS, seco ao ar e passado por peneira 50 mesh ou de abertura 0,3 mm. O material que passa por esta peneira é denominado Filler. Cerca de 0,5 kg do material foi separado para sua caracterização química (teores totais) e mineralógica (Difração de raios-X). A análise granulométrica dos solos utilizou o método do densímetro de Bouyoucus. Os atributos químicos determinados nos solos e do pó de rocha como solo foram: pH em água (pH_{H2O}), pH em KCl 1 mol L^{-1} (pH_{KCl}) e pH em $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} (pH_{CaCl2}), acidez potencial (H^++Al^{3+}), alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P) disponível, potássio (K^+), sódio (Na^+), carbono orgânico total (C) e análise granulométrica conforme metodologias descritas em Teixeira *et al*. (2017). A partir dos valores de pH_{KCl}, pH_{H2O} foi possível calcular os valores de ∇pH e pH no ponto de carga zero (pH_{PCZ}).

Para obtenção dos resultados das análises estatísticas, foi avaliada as interações e os efeitos as interações e os efeitos das diferentes dosagens de pó de basalto, utilizando-se o programa estatístico SAS (SAS, 1999) e foram consideradas relações significativas aquelas que apresentarem $p < 0,05$ de probabilidade. Os dados das análises químicas também foram analisados no utilizando a rotina PROC REG para a obtenção dos coeficientes de correlação linear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os solos apresentam caráter ácido com valores de pH_{CaCl2} inferior a 6,0, sendo que o PVD apresentou o menor valor de pH e foi o único que apresentou acidez trocável (Al^{3+}) (Tabela 1). A CTC dos solos é baixa sendo que o PVd possui menor de 50% da CTC do LVdf. O LVdf apresenta características de solo que recebeu calagem nos últimos anos apresentando valor V% acima de 50.

O LVdf confirmou seu caráter argiloso apresentando 46% de argila, enquanto o PVD apresentou somente 10% de argila sendo incluído na classe textural areia.

O pó de rocha apresenta um pH alcalino devido a hidrólise de seus óxidos que produz hidroxilas. Possui também cátions disponíveis associados às frações mais finas e resultado da pulverização da rocha. As partículas predominantes são de silte e areia. Possui teor de argila semelhante ao PVd.

Os resultados da interação de pó de basalto em dois solos diferentes, cujas respostas diferem principalmente pela diferença na textura dos solos, sabe-se que o uso do pó de basalto contribui significativamente para a melhoria da qualidade nutricional do solo em que é inserido.

Os valores de correlação entre os elementos químicos dos dois solos embora variem significativamente, mantem uma curvatura que contribui para a manutenção adequada da qualidade do solo e para o cultivo de diferentes vegetais, como a soja por exemplo. Os dados apresentados demonstram que o uso do pó de basalto resultou em um significativo aumento dos nutrientes essenciais para a fertilidade dos solos, apresentando um importante efeito residual.

As características químicas do solo em estudo foram influenciadas significativamente pelo período de incubação e doses do basalto, porém a interação entre doses e período de incubação foi não significativa para todas as variáveis avaliadas. Observou-se efeito significativo do período de incubação para as variáveis P, MO, pH, K, Mg, H+Al, Al e V(%). O basalto incubado por 92 dias influenciou positivamente os teores de MO, Mg, K, SB e do V %, os quais se elevaram com o período de incubação. Houve elevação de alguns valores

à medida que crescia a aplicação de pó de basalto nos solos, resultando em melhoria das características do solo.

Tabela 1. Análise química e granulométrica dos Latossolos e pó de basalto realizadas antes da implantação do experimento

Atributo	Unidade	Latossolos		Pó de Basalto
		LVdf	PVd	PB
pH_{H2O}		6,96	5,25	9,15
pH_{KCl}		5,10	4,23	7,15
pH_{CaCl2}		5,43	4,44	7,62
ΔpH		-1,86	-1,02	-2,00
pH_{PCZ}		3,24	3,21	5,15
Al	$cmol_c\ dm^{-3}$	0,00	0,40	0,00
H+Al	$cmol_c\ dm^{-3}$	3,19	2,97	0,55
Ca	$cmol_c\ dm^{-3}$	6,00	0,78	12,38
Mg	$cmol_c\ dm^{-3}$	2,13	0,83	1,18
K	$cmol_c\ dm^{-3}$	0,15	0,04	0,16
Na	$cmol_c\ dm^{-3}$	0,01	0,00	3,16
SB	$cmol_c\ dm^{-3}$	8,29	1,66	16,88
CTC	$cmol_c\ dm^{-3}$	11,48	4,63	17,43
CTCe	$cmol_c\ dm^{-3}$	8,28	2,05	16,88
P	$mg\ dm^{-3}$	4,80	2,40	38,00
C	$g\ dm^{-3}$	11,74	3,69	n.d.
V	%	72	36	97
m	%	0,00	19,42	0,00
Areia grossa	%	7,93	41,57	1,33
Areia fina	%	36,07	46,43	34,67
Silte	%	10,00	2,00	56,00
Argila	%	46,00	10,00	8,00

Notas: pH_{H2O}: pH em água; pH_{KCl}: pH em cloreto de potássio; pH_{CaCl2}: pH em cloreto de cálcio; ΔpH: delta pH; $pH_{PCZ:}$ pH no ponto de carga zero; Al: teor de alumínio; H+Al: acidez potencial; Ca: teor de cálcio; Mg: teor de magnésio; K: teor de potássio; Na: teor de sódio; SB: soma de bases; CTC a pH 7,0: capacidade de troca catiônica a pH 7; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; P: teor de fósforo (mehlich-1); C: teor de carbono orgânico; V%: saturação de bases; n.d.: não determinado; LVdf: Latossolo Vermelho distroférrico; LVd: Latossolo vermelho distrófico.

Observa-se que houve um aumento da quantidade da presença dos elementos químicos no solo de acordo com o aumento da aplicação de doses crescentes de pó de basalto no ambiente, reforçando a importância da presença mineral para melhoria da qualidade do solo e consequentemente, das culturas cultivadas. Embora, nem sempre exista correlação entre os teores dos nutrientes encontrados na análise de solo e os encontrados no tecido foliar, pois na análise de solo utilizam-se soluções extratoras que podem superestimar um nutriente no solo e não quer dizer que este será utilizado pela planta, enquanto a análise foliar demonstra os teores totais dos nutrientes absorvidos pela cultura (dados não apresentados).

De modo que para cada t ha^{-1} de pó de basalto aplicado as diferenças de R^2 para cada solo sofrem variação em relação aos dois solos, embora as doses aplicadas sejam crescentes em quantidades iguais. O Argissolo Vermelho distrófico – PVd apresentou os maiores valores de R^2 em pH H_2O com $R^2 = 0,4$ e em pH_{KCl} com $R^2 = 0,2$. Já o Latossolo Vermelho distroférrico – LVdf apresentou os maiores volumes de R^2 em Delta pH com $R^2 = 0,1$ e em pH_{PCZ} com $R^2 = 0,2$.

Observa-se que à medida que a aplicação de pó de basalto aumenta os valores químicos estabilizam, uma vez que a acidez ativa do solo é determinada através do pH, que é a determinação da quantidade de H+ encontrado na solução do solo, sendo assim, o pH é um dos atributos químicos do solo mais importantes relacionados a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a adição de pó de basalto melhorou a eficiência da neutralização da acidez potencial do solo.

Os valores da saturação de bases são influenciados pela interação da aplicação do pó de basalto e pela variação do solo, a imagem mostra que houve uma queda do valor final no Latossolo Vermelho distroférrico, enquanto no Argissolo Vermelho Distrófico os valores se mantiveram estáveis.

Observa-se que com a aplicação de pó de basalto os valores de acidez houve uma elevação no valor de acidez do Latossolo Vermelho distroférrico, enquanto no Argissolo a taxa de elevação foi menor, uma vez que a acidez deste sempre foi maior que a do outro. Ambos os solos estão com elevado nível de acidez. O valor da porcentagem de V% do Argissolo Vermelho superou o do Latossolo Vermelho.

Ambos os solos apresentam caráter ácido com valores de pH_{CaCl2} inferior a 6,0, sendo que o PVd apresentou o menor valor de pH e foi o único que apresentou acidez trocável (Al^{3+}). A CTC dos solos é baixa sendo que o PVd possui menor de 50% da CTC do LVdf. O LVdf apresenta características de solo que recebeu calagem nos últimos anos apresentando valor V% acima de 5.

Observa-se que a quantidade de cátions absorvidos CTC é maior no Latossolo Vermelho distroférrico com R^2 = 0,2 e menor no Argissolo Vermelho com R^2 = 0,1 para cada t ha^{-1} de aplicação crescentes de doses de pó de basalto.

A alteração na capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) pode sofrer influência da natureza do solo, de modo que a concentração dos cátions também afeta as trocas, uma vez que à medida em que a solução é diluída, aumenta a preferência da troca pelos cátions de menor densidade. O Latossolo Vermelho apresenta valores de CTCe maiores com R^2= 0,2, enquanto o Argissolo Vermelho distrófico apresenta valores de R^2 = 0,03.

O teor de carbono orgânico praticamente não foi alterado com as doses de pó de rocha. O mesmo não ocorreu com o teor de fósforo disponível. Neste caso é importante salientar que todos os tratamentos, nos diferentes cultivos, receberam as mesmas doses de fósforo; portanto a correlação positiva do teor de fósforo do solo em relação às doses de pó de rocha é uma prova de que a liberação de sílica (H_4SiO_4) no intemperismo dos minerais primários do pó de rocha bloqueia os sítios de adsorção de fósforo aumentando sua disponibilidade para as plantas em função das doses de pó de rocha aplicados.

Um aspecto interessante a ser melhor estudado posteriormente é que a aplicação as doses crescentes de pó de rocha determinaram, não considerando a textura dos solos, um aumento do teor de carbono. Ainda, correu uma correlação negativa entre a CTC dos solos e o teor de fósforo disponível, como se o aumento da disponibilidade de fósforo reduzisse a CTC.

O acréscimo de fertilizantes fosfatados, provoca o acúmulo de fósforo em formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, embora o acúmulo das formas inorgânicas seja mais pronunciado. A redistribuição de fósforo em diversas formas quando da adubação também ocorre em solos cultivados sob sistema plantio direto. O LVdf possui uma taxa maior de fósforo adsorvido, enquanto o PVd possui um valor mais expressivo de fósforo remanescente.

CONCLUSÕES

Ambos os solos tiveram respostas significativas para a utilização de pó de basalto na granulometria filler, embora as respostas possam ser consideradas apenas parcialmente significativas aos dois solos em estudo, visto que trata-se de um curto período de incubação. A utilização do pó de basalto como um condicionador químico de solo, promoveu o incremento de cátions trocáveis e reduziu a acidez potencial, realizando também o incremento de macronutrientes nos solos estudados. De modo geral, o resultado dos tratamentos aplicados aos solos demonstrou alterações positivas nos atributos químicos avaliados

BIBLIOGRAFIA

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; GERALDES, W. **Manual de métodos de análise de solo** 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

SUBPRODUTO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA HEPARINA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DE NITROGÊNIO PARA O SOLO

Aline Zanquetti[1*], Felipe Augusto Bueno Rossi[2], Larissa Macedo dos Santos Tonial[3]
[1] Estudante de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Pato Branco, [2]Estudante de Graduação, UTFPR – Campus Pato Branco, [3]Professor da UTFPR – Campus Pato Branco. *zanquettialine@gmail.com

RESUMO

O estudo avaliou o subproduto da extração de heparina como potencial fonte de nutrientes e carbono para o solo. Técnicas analíticas, incluindo análise elementar e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foram empregadas para a caracterização química e espectroscópica do subproduto. O qual apresentou alto teor de nitrogênio (9,71%), atendendo ao mínimo estabelecido pela legislação vigente. Os espectros de FTIR revelaram a presença de estruturas decorrentes de matéria orgânica humificada no subproduto o qual indica um alto grau de humificação. A caracterização do solo por FTIR não apresentou resultados significativos uma vez que os constituintes inorganicos apresentam sinais intensos. Estes resultados sugerem o subproduto como uma alternativa viável para reduzir a dependência de insumos sintéticos, aumentar a fertilidade do solo e contribuir para práticas agrícolas sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: nutrientes; matéria orgânica; resíduo; espectroscopia.

INTRODUÇÃO

Os fertilizantes orgânicos surgem como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de uma agricultura mais eficiente e com menor impacto ambiental em comparação aos fertilizantes químicos, contribuindo para uma produção agrícola mais sustentável, preservando a saúde do solo e reduzindo a poluição ambiental (Çakmakçı, 2019; Bremaghani, 2024).

Deste modo, a caracterização de novos subprodutos e/ou resíduos surge como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de novos fertilizantes orgânicos. Dentre estes, destaca-se neste estudo o subproduto do processo de extração da heparina a partir da mucosa intestinal de suínos, o qual apresenta alto teor de nitrogênio orgânico.

Com isso, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o subproduto da extração da heparina e o solo após a adição do mesmo em diferentes doses, por meio de análise elementar e infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras

As amostras de subproduto da extração da heparina foram obtidas de uma indústria farmacêutica que realiza a extração da heparina, matéria-prima para fármacos, localizada na cidade de Palmas, estado do Paraná, Brasil.

Os solos foram coletados nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, aleatoriamente, utilizando-se pá reta de corte. Para cada amostra, coletou-se subamostras em pontos distintos, que, após serem homogeneizadas, formaram uma amostra composta.

Caracterização Química

A caracterização das amostras para determinação dos teores totais de carbono (C) e nitrogênio (N) foi realizada por combustão seca em um analisador autoelementar (Flash EA 1112, Thermo Finnigan, Milão, Itália) no Laboratório de Análise de Carbono e Nitrogênio (LABCEN) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Caracterização por espectroscopia

Os espectros de FTIR do subproduto da extração de heparina foram obtidos a partir de pastilhas de KBr (amostra de 1,5 mg: 150 mg KBr), empregando um Spectrometer Frontier da Perkin Elmer, varredura de 4000 a 400 cm^{-1}, resolução espectral de 4 cm^{-1} e 64 varreduras.

Os espectros de FTIR dos solos foram obtidos utilizando a espectroscopia no infravermelho por reflectância total atenuada com transformada de Fourier (ATR, do inglês *attenuated total reflectance*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O subproduto da extração de heparina apresentou teor de C acima do recomendado na instrução normativa (IN) número 61 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos fluídos (Brasil, 2020). Um valor significativamente alto foi obtido para os teores de N o que destaca seu potencial como fertilizante e condicionador de solo. Esses resultados destacam o subproduto da extração de heparina como uma alternativa para reduzir sua dependência de fertilizantes externos e mitigar as mudanças climáticas (Brasil, 2020).

O teor de C do subproduto foi de 31.4 ± 0.2%, valor abaixo da maioria dos fertilizantes orgânicos disponíveis na literatura, contudo, acima do teor mínimo de 3% conforme a legislação vigente. Enquanto que o teor de N foi de 9.71 ± 0.05%, sendo o teor mínimo de 1%.

Os principais sinais observados no subproduto da extração de heparina foram: (1) grupos hidroxila (3360 cm^{-1}); (2) grupo funcional C-H alifático de grupos metil e metileno (pico 2930 cm^{-1}); (3) alongamento C=O e C=C aromático (entre 1650 e 1630 cm^{-1}); (4) alongamento C–N de amidas (1515 cm^{-1}); (5) deformações O-H e estiramento C-O de fenóis ou deformação C-H de grupos CH_2 ou CH_3 (estruturas fenólicas e alifáticas) (1420 cm^{-1}); (6) vibrações de estiramento C-O-C e C-O de polissacarídeos (1000–1200 cm^{-1}); e (7) C-OH (558 cm^{-1}) (Orlović et al., 1986; Baes & Bloom, 1989; Spaccini & Piccolo, 2007; Senesi et al., 2003) (Figura 1A). Dentre estes, destaque para o sinal em torno de 1650 cm^{-1}, o mais intenso, que indica um alto grau de humificação do subproduto e é característico de alongamento C=O de frações carbonílicas (ácidos carboxílicos, carboxilatos, amidas e cetonas), vibração aromática C=C, amina N-H e alongamento assimétrico C–O no COO^-.

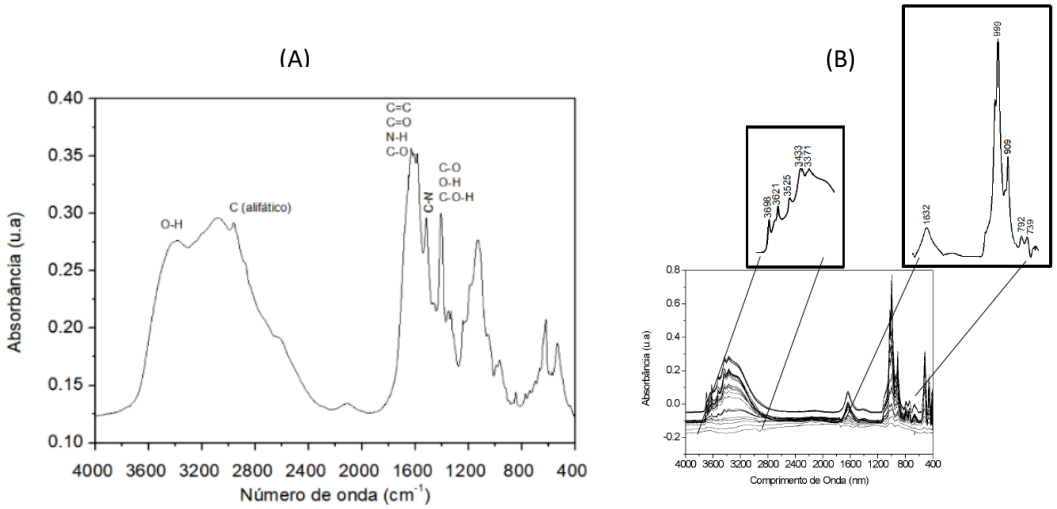


Figura 1. Espectros de FTIR de fertilizante orgânico suíno (A) e espectros de solos (B).

Um resíduo com alto grau de humificação, ou seja, maior concentração de grupos aromáticos em comparação aos alifáticos, será mais estável e fornecerá ao solo uma liberação lenta de nutrientes, influenciando suas características de forma persistente e duradoura (Zech et al., 1997).

Na Figura 1B, foram observados sinais entre 3700 e 3440 cm^{-1}, 900 e 400 cm^{-1}, podem ser atribuídos à fração mineral do solo (POTES et al., 2010; HABERHAUER et al., 1998), em 1632 cm^{-1} grupos aromáticos e carboxílicos, sendo atribuído às vibrações C=O de carboxilatos aromáticos (HABERHAUER et al., 1998). O pico de maior intensidade, em 999 cm^{-1} pode ser atribuído às vibrações de Si-O de minerais presentes na fração argila (HABERHAUER et al., 1998). Com isso, observa-se que, a presença de picos decorrentes das características inorgânicas dos solos, sinais de argila, quartzo e caulinita, encontram-se em destaque no espectro, comprometendo a caracterização da fração orgânica, uma vez que, sobrepõem os sinais no espectro de FTIR. Deste modo, a caracterização da MO do solo só é possível por meio do fracionamento químico do solo e posterior caracterização por FTIR.

CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou o potencial do subproduto da extração de heparina como uma alternativa viável de fertilizante orgânico. Ele apresentou vantagens significativas, incluindo um alto teor de N (9,71%), emergindo como uma fonte sustentável e promissora deste elemento.

A espectroscopia FTIR revelou um alto grau de humificação do subproduto da extração de heparina, indicado por elevada intensidade do sinal referente ao carbono aromático em relação ao alifático. Sugerindo ser mais estável e capaz de fornecer uma liberação lenta e aprimorada de nutrientes, o que contribui para a fertilidade do solo a longo prazo.

As descobertas posicionam o fertilizante orgânico suíno como um fertilizante orgânico sustentável e eficiente que pode dar suporte à economia circular, reduzindo a dependência de fertilizantes sintéticos e promovendo práticas agrícolas ambientalmente responsáveis. Estudos futuros podem explorar estratégias para otimizar sua composição de nutrientes, aumentar sua eficiência de aplicação e avaliar seu desempenho agronômico em diversos sistemas de cultivo.

AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação Araucária, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Pato Branco, Ministério da Educação do Brasil, Central de Análises e Laboratório de Solos da UTFPR.

BIBLIOGRAFIA

ÇAKMAKÇI, Ramazan. A review of biological fertilizers current use, new approaches, and future perspectives. **International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology**, v. 5, n. 7, p. 83-92, 2019.

BREMAGHANI, Ade. Utilization of organic waste in compost fertilizer production: implications for sustainable agriculture and nutrient management. **Law and Economics**, v. 18, n. 2, p. 86-98, 2024.

ORLOVIC, Mirko et al. Rates and alkyl group size in solvolysis of alkyl derivatives. **The Journal of Organic Chemistry**, v. 51, n. 17, p. 3253-3256, 1986.

BAES, A. U.; BLOOM, P. R. Diffuse reflectance and transmission Fourier transform infrared (DRIFT) spectroscopy of humic and fulvic acids. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 3, p. 695-700, 1989.

SPACCINI, Riccardo; PICCOLO, Alessandro. Molecular characterization of compost at increasing stages of maturity. 1. Chemical fractionation and infrared spectroscopy. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 6, p. 2293-2302, 2007.

SENESI, N.; D'ORAZIO, Valeria; RICCA, G. Humic acids in the first generation of EUROSOILS. **Geoderma**, v. 116, n. 3-4, p. 325-344, 2003.

ZECH, Wolfgang et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1-4, p. 117-161, 1997.

POTES, Mariana da Luz et al. Matéria orgânica em Neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 23-32, 2010.

HABERHAUER, Georg et al. Comparison of the composition of forest soil litter derived from three different sites at various decompositional stages using FTIR spectroscopy. **Geoderma**, v. 83, n. 3-4, p. 331-342, 1998.

SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Instrução Normativa nº 61 , de 08 de julho de 2020.** Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, tolerâncias, registro, garantias, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília, 03 de agosto de 2020. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf. Acesso em: 07 mar. 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

SIMULAÇÃO DE APLICAÇÃO EM TAXA VARIÁVEL DE NITROGÊNIO

Érica Letícia Junges[1*], Sandro Luciano Barreto Fensterseifer[2]
[1]Estudante de graduação, Universidade Federal de Santa Maria *Campus* Frederico Westphalen – RS. *jungeserica@gmail.com
[2]Professor Doutor, Universidade Federal de Santa Maria *Campus* Frederico Westphalen – RS. *sandrolbf@gmail.com

RESUMO

Este estudo abordou o uso de geotecnologias para aprimorar o manejo agrícola por meio da agricultura de precisão e adubação por taxa variável, utilizando-se o sistema de informação geográfico ArcGIS Desktop e técnicas de interpolação para simular a aplicação de Nitrogênio. Aplicado a uma área de 480 ha em Tupanciretã, RS, o estudo utilizou dados simulados de fertilidade do solo tendo como fonte o Manual de Adubação e calagem, para criar mapas de adubação baseados na variabilidade espacial dos nutrientes. A interpolação IDW destacou áreas de maior e menor necessidade de fertilização, otimizando a aplicação de insumos. Os resultados confirmaram que os mapas gerados são ferramentas eficazes para ajustar fertilizantes às condições específicas do solo, reduzindo custos, aumentando a eficiência produtiva e promovendo a sustentabilidade. Assim, conclui-se que os sistemas de informação geográfica são indispensáveis para práticas agrícolas mais precisas e ambientalmente responsáveis.

PALAVRAS-CHAVE: taxa variável; agricultura de precisão; nitrogênio.

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão vem se destacando como uma abordagem inovadora no manejo agrícola. Essa técnica utiliza ferramentas de geotecnologia, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para analisar a variabilidade espacial do solo e, melhorar a eficiência na aplicação de fertilizantes.

A aplicação em taxa variável é realizada com máquinas agrícolas equipadas com GPS e sensores, que ajustam automaticamente a quantidade de fertilizante aplicada conforme a necessidade de cada ponto da lavoura.

A agricultura de precisão é um sistema avançado de gerenciamento agrícola que integra tecnologias de informação para a coleta, análise e aplicação estratégica de dados, permitindo uma utilização localizada e precisa de insumos, como fertilizantes e corretivos (Balastreire e Baio, 2001).

De acordo com Molin (2006), a aplicação em taxa variável destaca-se como uma das ferramentas mais significativas da agricultura de precisão, pois possibilita o ajuste das quantidades de insumos aplicados com base na variabilidade espacial das lavouras. E essa abordagem otimiza os recursos disponíveis e promove maior eficiência na produção agrícola.

Além de aumentar a eficiência produtiva, a aplicação de fertilizantes em taxa variável oferece benefícios econômicos e ambientais, reduzindo custos e minimizando desperdícios. Essa prática também contribui para a sustentabilidade agrícola ao mitigar os impactos ambientais associados ao uso excessivo de insumos (Pierce e Nowak, 1999).

A implementação efetiva da agricultura de precisão depende do uso integrado de mapas de fertilidade, sistemas de posicionamento global (GPS) e sensores. Esses recursos fornecem informações geoespaciais detalhadas, fundamentais para a tomada de decisões informadas e precisas no manejo agrícola (Gebbers e Adamchuk, 2010).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver, elaborar e analisar mapas gerados pelo software ArcGIS Desktop, utilizando técnicas de interpolação de dados. Por meio desses mapas, foi possível simular a aplicação de macronutrientes (N) em taxas variáveis, otimizando o manejo agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Tupanciretã, localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, no Assentamento Santa Rosa. Com área de 480 ha e georreferenciadas pelas coordenadas 29°04’06,63” S e 53°48’57,92” O.

Os seguintes equipamentos e softwares foram empregados na execução do projeto:

a) Notebook: Acer, equipado com processador Intel Core i5.

b) Software de geoprocessamento: Google Earth Pro, utilizado para a visualização e demarcação da área de estudo.

c) Sistema de Informação Geográfica (SIG): ArcGis 10.8, empregado na análise espacial e confecção de mapas.

Os mapas foram elaborados no ArcGis 10.8, empregando o método de interpolação IDW (Inverse Distance Weighted). Onde incluíram mapas fertilidade (kg/ha) e recomendação de adubação (kg/ha) para a área estudada, considerando o macronutriente Nitrogênio (N).

Os dados foram gerados a partir de pontos aleatórios distribuídos de forma randômica na área de estudo, resultando em 100 pontos de amostragem uniformemente distribuídos pela área de estudo, posteriormente realizou-se a interpolação e a densificação destes pontos amostrais. Essa abordagem foi adotada para simular uma análise de solo representativa da região.

Os dados simulados para os teores de Nitrogênio (N) no solo variaram de 0 a 244 kg/ha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de fertilidade e adubação de Nitrogênio, caracterizam as necessidades de adubação com base nos teores simulados desse nutriente presentes no solo. Esses mapas são gerados a partir dos pontos de coleta representados no mapa de fertilidade, que indicam as concentrações do nutriente no solo. A partir dessas informações, são elaborados mapas de adubação (kg/ha), que representam a quantidade necessária de N para otimizar a produtividade das culturas, ajustando a aplicação desse insumo conforme a variabilidade espacial do solo. O uso da metodologia de adubação por taxa variável permite uma administração mais precisa e eficiente da adubação, promovendo a sustentabilidade e a redução de custos com esses insumos.

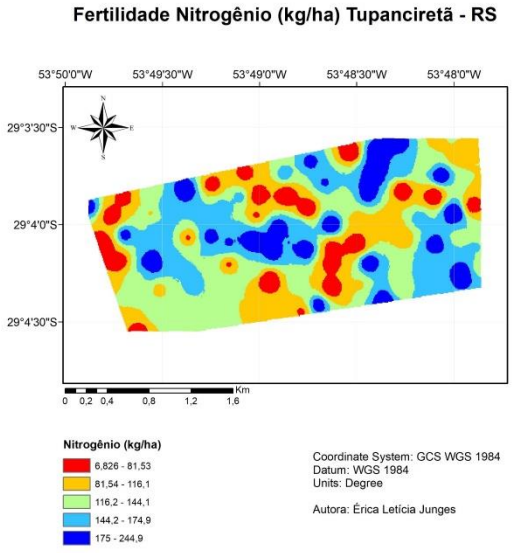


Figura 17. Mapa de fertilidade nitrogênio (kg/ha).

De acordo com a Figura 1, é possível identificar padrões na distribuição do nitrogênio na área analisada. As áreas vermelhas e laranjas indicam regiões com baixa fertilidade, portanto, exigem maior aplicação do nutriente. Em contrapartida, as áreas em verde, azul-claro e azul-escuro representam locais com níveis elevados de nitrogênio, onde a aplicação do fertilizante pode ser ajustada ou reduzida, otimizando o uso e evitando excessos que poderiam impactar negativamente o ambiente e os custos de produção.

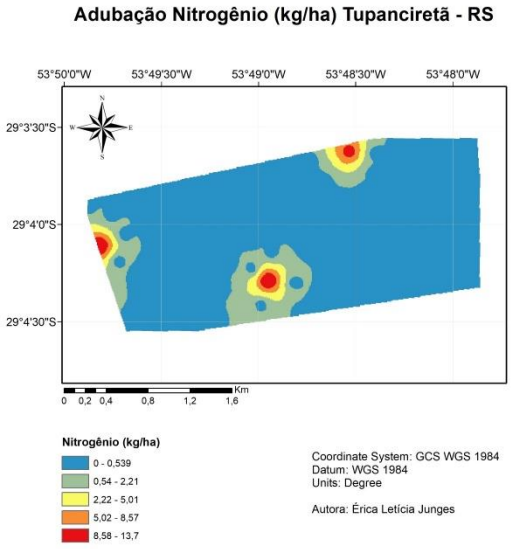


Figura 18. Mapa de adubação nitrogênio (kg/ha)

Considerando como parâmetro de adubação 20 kg/ha conforme recomendação tecnica, Logo para a quantificação de adubação na figura 2, foi de 20kg/ha menos a fertilidade nitrogênio kg/ha (figura 1).

A Figura 2 mostra o mapa de adubação de nitrogênio (kg/ha) que indica a quantidade de nitrogênio a ser aplicada em diferentes áreas do talhão. Portanto, áreas em azul indicam regiões com baixa necessidade de nitrogênio, ou seja, essas áreas já possuem teores suficientes desse nutriente no solo. Em áreas em verde claro e amarelo representam zonas onde a necessidade de aplicação de nitrogênio é moderada. Já nas Áreas em vermelho indicam locais com maior necessidade de nitrogênio, sugerindo que essas zonas exigem maior aplicação para atingir os níveis ideais de adubação.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento de planos de informação seguindo a metodologia de adubação por taxa variável possibilitou a criação de mapas que evidenciam a variabilidade espacial da fertilidade do solo e as necessidades de aplicação do Nitrogênio. Esses tipos de metodologia são ferramentas indispensáveis para otimizar o uso de fertilizantes, aumentando a eficiência, reduzindo custos e promovendo um manejo agrícola mais sustentável.

No presente estudo a área já se apresentava com parâmetros de nitrogênio próximo ao recomendado, porém em situações em que estes valores se encontram bastante inferiores a diferença da adubação por taxa variável em relação ao processo convencional e bastante significativa, gerando ganhos significativos ao produtor rural.

AGRADECIMENTOS

Universidade Federal de Santa Maria *Campus* Frederico Westphalen – RS.

BIBLIOGRAFIA

BALASTREIRE, L. A.; BAIO, F. H. R. Agricultura de precisão: um conceito tecnológico para o gerenciamento da produção agrícola. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 21, n. 3, p. 1-11, 2001.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: situação atual e perspectivas. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 8, n. 1, p. 9-14, 2006.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 67, p. 1-85, 1999.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010.

BLOG VERDE. **Veja os preços do Cloreto de Potássio e outros fertilizantes usados na agricultura brasileira.** Blog Verde, 2024. Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/mercado-agricola/veja-os-precos-do-cloreto-de-potassio-e-outros-fertilizantes-usados-na-agricultura-brasileira/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

USO DE CINZAS EM PINUS: ANÁLISE NUTRICIONAL DAS ACÍCULAS

Leonel Kovalski[1*], Jhonny Steffen[2], Shizuo Maeda[3], Daniele Fernanda Zulian[4], Marcia Toffani Simão Soares[3]
[1] Estudante de graduação, Curso de Engenharia Florestal, UFPR. *leonelkovalski08@gmail.com. [2] Estudante de graduação, Curso de Agronomia, UFPR. [3]Pesquisadores da Embrapa Florestas, PR. [4]Analista de Pesquisa e Controle de Qualidade, IRANI Papel e Embalagens S.A.

RESUMO

O presente estudo avaliou o efeito da aplicação de cinzas de biomassa de madeira na nutrição de *Pinus taeda*, estabelecido em 2018 no Vale do Contestado, Santa Catarina. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com 4 blocos e 2 tratamentos, correspondentes às doses 0 e 5 Mg ha^{-1} de cinza (base seca). Em dezembro de 2021 e maio de 2023 foram coletadas amostras de acículas para determinação dos teores de K, Ca, Mg, P, Mn, Fe, Zn, Cu. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para testar efeito de dose, época e sua interação. Na quantidade e qualidade utilizada, o uso de cinzas no solo diminui o teor foliar de K ($p \leq 0,01$). Estudos futuros demandam abranger o efeito da dinâmica nutricional no crescimento e qualidade da madeira, a fim de gerar subsídios para o uso da prática em estratégias de manutenção dos cultivos florestais da região.

PALAVRAS-CHAVE: *Pinus*; macronutrientes; micronutrientes; acículas; cinzas.

INTRODUÇÃO

Apesar do potencial uso de resíduos de celulose e papel em solos com cultivos florestais para suprimento nutricional e incrementos em produtividade, os efeitos do uso de cinzas na nutrição foliar, observados em pesquisas de campo, são muito variáveis e dependentes de fatores como local do plantio, tipo de solo, clima (Silva, 1998) e composição do resíduo utilizado. Para ampliar a compreensão dos benefícios da prática na nutrição de espécies madeireiras comerciais, o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de K, Ca, Mg, P, Al, Fe, Mn, Cu, Zn em acículas de *Pinus taeda* estabelecido no Vale do Contestado, Oeste de Santa Catarina, submetido ao uso de cinza de biomassa da caldeira gerada no processo de produção celulose e papel.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em um povoamento de *Pinus taeda* estabelecido em 2018 em um Cambissolo, em talhão localizado no oeste do estado de Santa Catarina, em área pertencente à empresa IRANI Papel e Embalagens SA. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com 4 blocos e 2 tratamentos, correspondentes às doses 0 e 5 Mg ha^{-1} de cinza (base seca), com teores totais, em g kg^{-1}, de 195,4 de C; 7,2 de N; 1,1 de P_2O_5; 21,9 de K_2O; 79,4 de Ca; 10,4 de Mg; 2,6 de S; 0,113 de Cu; 4,736 de Mn; 0,185 de Zn; 58,331 de Fe e 0,02 de B. O material foi aplicado entre março e abril de 2018 ao redor das mudas. A parcela útil consistiu em 18 árvores, distribuídas em 3 linhas com 6 árvores por linha, no espaçamento 2,0 x 2,5 m. As coletas de acículas foram realizadas em dezembro de 2021 e maio de 2023, sendo coletadas nos verticilos inferiores do terço superior da copa de quatro árvores de maior diâmetro por parcela. Em 2021 foram coletadas as acículas recém-maduras (jovens), enquanto que em 2023 foram coletadas as acículas recém-maduras (jovens) e do lançamento anterior (maduras). As amostras foram preparadas e analisadas conforme Silva *et al*. (1999). Foi feita análise de variância, testando efeitos de bloco, dose, idade das árvores e interação dose*época, com o auxílio do software R Studio versão 4.3.2. As interpretações dos valores médios da análise foliar (acículas jovens e maduras) foram realizadas conforme Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios de nutrientes das acículas jovens e maduras de *P. taeda* nas duas épocas avaliadas estão apresentados nas Figuras 1 e 2. O teste F indicou que o uso de cinzas promoveu uma diminuição dos teores de K nas acículas jovens ($p \leq 0,01$), independentemente da época (Figura 1). No tratamento com cinza, os valores médios de K das acículas jovens estiveram dentro do nível de suficiência em 2021, mas em 2023 passou a estar abaixo do nível de suficiência (Figura 1a). Considerando-se as médias das duas avaliações, os teores de Ca, Mg e P nas acículas jovens não diferem entre tratamentos, mesmo com o aumento dos teores trocáveis de Mg, K, Ca, e do P disponível no solo com cinza, conforme relatado por Steffen *et al*. (no prelo). Pela análise de variância, houve interação significativa entre dose e época para Cu, Zn e Mn ($p \leq 0,05$), sinalizando que a resposta desses nutrientes à aplicação de cinza dependeu da idade das árvores e do tempo após uso do resíduo (Figura 2). O fator época, isoladamente, também foi significativo ($p \leq 0,01$) para K e Fe em acículas jovens, com diminuição de teores em 2023, em relação àquelas obtidas em 2021.

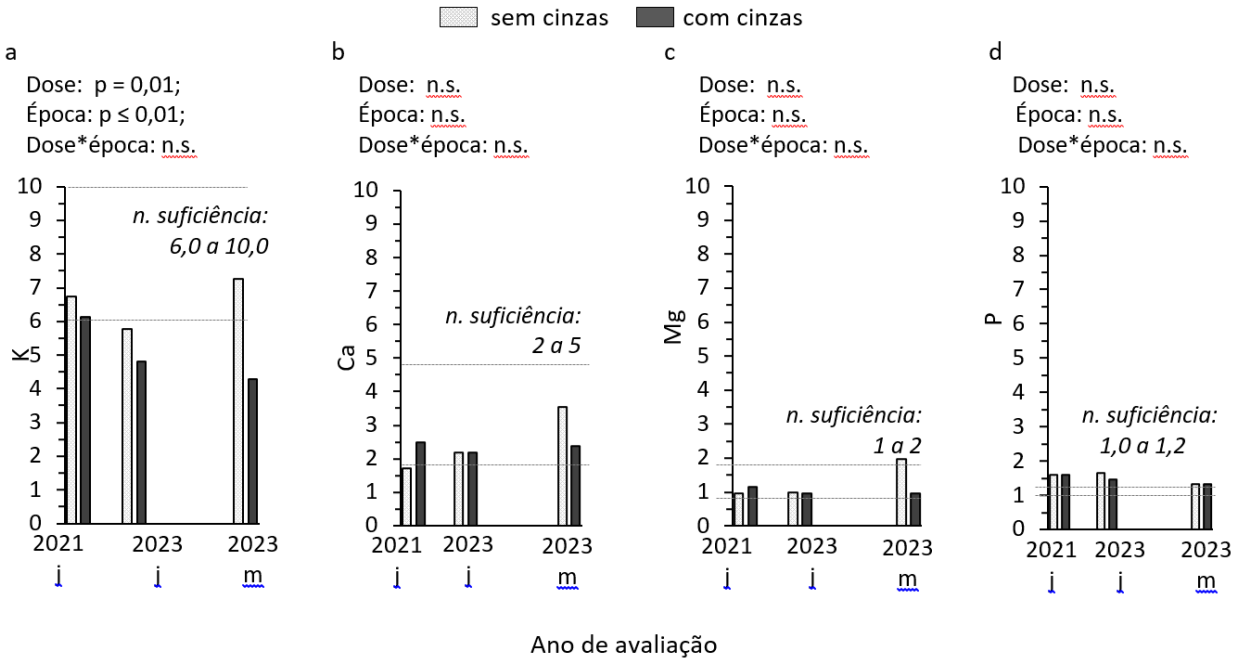


Figura 1. Teores (g kg^{-1}) de K (a), Ca (b), Mg (c) P (d) em acículas recém-maduras (jovens - j) e maduras (m), coletadas em povoamento de *P. taeda*. Linhas tracejadas (----) correspondem aos valores inferior e superior da faixa de suficiência dos nutrientes (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016). Sendo $p \leq 0,01$, $p \leq 0,05$: diferenças estatisticamente significativas, em acículas jovens, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. n.s.: não significativo pelo teste F. n. suficiência: nível de suficiência.

De acordo com os critérios estabelecidos pela SBCS (2004), o fósforo (P) foi o único nutriente que apresentou valores médios acima do nível de suficiência nas acículas jovens e maduras (Figura 1d). Já o Fe manteve-se abaixo do nível de suficiência em todas as médias apresentadas na Figura 2a. Foram verificadas médias dentro ou com valores inferiores às respectivas faixas de suficiência para os teores de Ca, Mg, Cu e Zn. De modo análogo, as médias de Mn mantiveram-se dentro ou com valor superior ao nível máximo de suficiência, a depender da época, da dose de cinza e do tipo de acícula coletada (Figura 2).

A diminuição dos teores de K no tratamento com cinza pode estar relacionada ao efeito de diluição, quando a taxa de crescimento da biomassa é superior à absorção do nutriente, resultando em menores teores nos tecidos foliares (Moro *et al*. 2008; Carmo *et al*., 2011). O efeito época e sua interação com o fator dose, por outro lado, pode ser resultante do processo de retranslocação dos respectivos nutrientes das folhas mais velhas para as partes mais novas das plantas, que passam a se comportar como dreno (Mendes *et al.,* 2012).

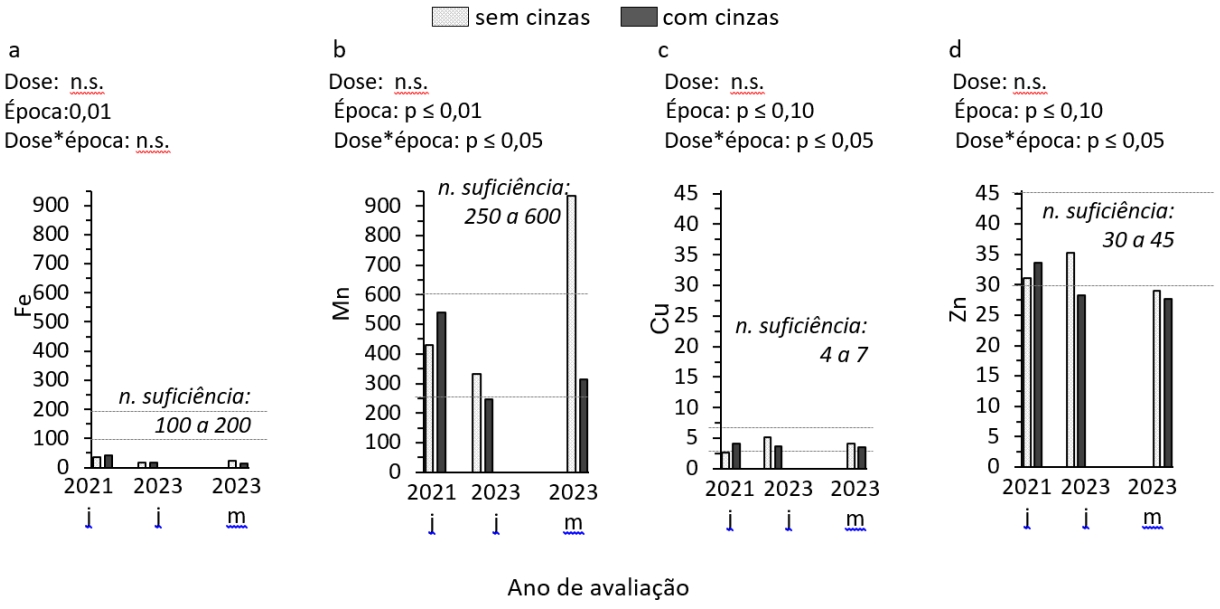


Figura 2. Teores (mg kg^{-1}) de Fe (a), Mn (b), Cu (c) e Zn (d) em acículas recém-maduras (jovens - j) e maduras (m), coletadas em povoamento de *P. taeda*. Linhas tracejadas (----) correspondem aos valores inferior e superior da faixa de suficiência dos nutrientes (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016). Sendo $p \leq 0,01$, $p \leq 0,05$ e $p<0,1$: diferenças estatisticamente significativas, em acículas jovens, a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente. n.s.: não significativo pelo teste F. N. suficiência: nível de suficiência

CONCLUSÃO

Na quantidade e qualidade utilizada, a aplicação de cinza diminui o teor foliar de K nas épocas avaliadas. O efeito da dinâmica nutricional no crescimento e qualidade da madeira de Pinus demanda ser investigado nos estudos futuros, a fim de gerar subsídios para o uso da prática em estratégias de manutenção da sustentabilidade dos cultivos florestais da região.

BIBLIOGRAFIA

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – Núcleo Regional Sul. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2004.

SILVA, A. C.; SANTOS, A. R.; PAIVA, A. V. Translocação de nutrientes em folhas de *Hevea brasiliensis* (clone) e em acículas de *Pinus oocarpa*. **Revista da Universidade de Alfenas**, v. 4 p. 11-18, 1998. DOI: 10.5902/19805098.

MORO, L., FERREIRA, C. A.; SILVA, H.D. REISSMANN, C.B. Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS. **Floresta**, v. 38 n. 3, p. 465-477, 2008.

MENDES, A. D. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; NASCIMENTO, M. N.; REIS, K. L.; BONOME, L. T. S. Concentração e redistribuição de nutrientes minerais nos diferentes estádios foliares de seringueira. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 525-532, 2012. DOI: 10.1590/S0044-59672012000400010.

STEFFEN, J.; MAEDA. S.; BOGNOLA, I. A.; SOARES, M. T. S. **Uso de cinzas em pinus**: mudanças na fertilidade de um Cambissolo em Santa Catarina, Brasil. *In:* Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas, 23. No prelo.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

TEORES DE MACRONUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DO TRIGO SOB DIFERENTES ADUBAÇÕES

Juliane Almeida Battisti [1*], Jéssica Caroline de Lima [2], Eduardo Luiz Buligon [3], Felipe do Casal de Paula[3], Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa [4]

[1, 2, 3] Bolsista de doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR; [4] Docente, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR. *juliane.battisti@unioeste.br

RESUMO

O Brasil é um grande produtor de trigo e sofre com a dependência de fertilizantes, que pode ser diminuída por diversas estratégias. Estudos referentes a utilização de bioinsumos e microrganismo para resolver esse problema vêm crescendo. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes adubações (T_1: adubação organomineral associada ao Microgeo®, T_2: adubação mineral associada ao Microgeo®, T_3: adubação organomineral, T_4: adubação mineral) sob a produtividade e o teor nutricional do trigo. Realizou-se um experimento a campo em faixas no ano de 2024. A maior produtividade foi observada no T1 (1.277,4 kg/ha), sendo significativamente superior ($p<0,05$) aos demais tratamentos (T2: 661,6 kg/ha; T3: 487,2 kg/ha; T4: 492,5 kg/ha), já os teores nutricionais não apresentaram diferença estatística. Pode-se inferir que o uso do bioestimulador assoaciado a adubação organomineral consiste em uma boa estratégia para aumentar a produtividade, porém são necessários mais estudos que investiguem outros fatores associados.

PALAVRAS-CHAVE: *Triticum sp.*; bioestimulador comercial Microgeo®; organomineral; produtividade agrícola.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de grãos em geral (Conab, 2025). Em relação ao trigo (*Triticum sp.*) atualmente encontra-se na 15ª posição, com previsão estimada de 8,4 milhões de toneladas na safra 2023/24. O trigo é um cereal muito antigo e amplamente utilizado, ele oferece vários benefícios à saúde devido a sua rica composição (Razem et al., 2024).

Dada a expressiva produção de grãos, o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes em um panorama mundial (Brasil, 2022). Para melhorar a saúde do solo e o desempenho produtivo e minimizar os efeitos prejudiciais dos fertilizantes minerais, existem vários microrganismos de interesse agrícola que podem ser adicionados ao solo. Essa estratégia vem sendo estudada e configura-se como um substituto eficaz para os fertilizantes minerais, fornecendo benefícios como estabilização da estrutura do solo, controle de doenças e pragas e estímulo ao crescimento das plantas (Pandey et al., 2019).

A troca de fertilizantes minerais por insumos biológicos à base de microrganismos pode promover uma sustentabilidade e fertilidade maior do solo (Monteiro & Duarte, 2021). Além disso, sabe-se que o uso de adubo organomineral tem potencial para intensificar a ação dos microrganismos (Almeida et al., 2016). As bactérias são protagonistas das transformações que ocorrem no solo, elas participam dos ciclos biogeoquímicos realizando a ciclagem dos nutrientes, além de promover a solubilização continua dos mesmos para posterior absorção das plantas (Xie et al., 2019).

Estudos vêm sendo desenvolvidos para entender melhor os benefícios do uso de microrganismos, como isso impacta as culturas agrícolas, como pode ajudar na diminuição da dependência dos produtos químicos, gerando práticas agrícolas mais sustentáveis (Cargnelutti et al., 2021; Wu et al., 2024; Costa et al., 2024), além de, potencialmente, desempenharem um papel na biofortificação de alimentos (Naik et al., 2024).

O Microgeo® é um bioestimulador comercial que promete trazer benefícios ao solo e as culturas, sua associação com adubação organomineral permanece pouco explorada. Em vista disso, objetivou-se avaliar

os efeitos da aplicação de adubação mineral e organomineral associada ao bioestimulador, quantificando a produtividade do trigo e os macronutrientes por meio de análise foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado um experimento a campo com a cultura de trigo (*Triticum sp*.), de maio a setembro de 2024. A cultura foi cultivada em faixas de 4,8x18m totalizando uma área experimental de 441,6m². Cada tratamento teve 5 repetições. O experimento foi instalado no NEEA (Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola), o qual fica localizado as margens da BR-467 em Sede Alvorada, Cascavel – PR. A latitude sul é cerca de 24°54' e a longitude oeste é de 53°31', com uma altitude de 750 metros acima do nível do mar, e o solo presente é um Latossolo Vermelho distroférrico.

Foram impostos quatro tratamentos, sendo eles:

T_1: adubação organomineral associada ao Microgeo®

T_2: adubação mineral associada ao Microgeo®

T_3: adubação organomineral

T_4: adubação mineral

A semeadura foi realizada com 175 $kg.ha^{-1}$ de semente; os tratamentos 1 e 2 receberam 150 $L.ha^{1}$ de Microgeo®; os tratamentos 1 e 3, 200 $kg.ha^{-1}$ de adubo organomineral NPK - Organomax™ 2:20:20 e o tratamento 4, 200 $kg.ha^{-1}$ de adubo mineral 2:20:20. Posteriormente foi realizada adubação de cobertura com100 $kg.ha^{-1}$ de ureia em todos os tratamentos. Os demais tratos culturais foram feitos conforme a necessidade da cultura.

A avaliação de produtividade foi realizada corrigindo o peso dos grãos para umidade de 14%.

Para análise química do tecido vegetal da cultura de trigo foram coletadas as folhas bandeiras na fase E4, sendo 20 folhas por repetição e 5 repetições por tratamento, as folhas foram secas em estufa a 40°C e trituradas. Em seguida foram quantificados os teores dos seguintes macronutrientes: Nitrogênio (N), Fosforo (P), Potássio (K), Calcio (Ca) e Magnésio (Mg).

Para a quantificação de N foi utilizada metodologia de NTK (Embrapa, 2009) realizando digestão da amostra com H_2SO_4 e mistura digestora (100g de Na_2SO_4; 10g de $CuSO_4$ e 1g de Se). A titulação da amostra foi realizada com H_2SO_4 a 0,1N. Os teores de P e K foram determinados após submissão das amostras à digestão em solução nítrico-perclórica (3:1), com fonte externa de calor, seguida de diluição e filtração. O P foi quantificado por meio do espectrofotômetro UV-VIS Hach®, utilizando absorbância de 725 nm e o K foi quantificado por meio de fotômetro de chama (Malavolta et al., 1997). A mesma abertura nítrico-perclórica (3:1), foi utilizada para mensurar os macronutrientes secundários Ca e Mg por meio de absorção atômica (Embrapa, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de produtividade a teores de macronutrientes primários (N, P e K) e secundários (Ca e Mg) da safra de trigo (2024) podem ser observados na Tabela 1.

Os resultados presentes na Tabela 1 permitem observar diferença estatística significativa ($p<0,05$) entre o T_1 e os demais tratamentos, de modo que o uso de adubação organomineral associada ao Microgeo® mostrou-se favorável. A produtividade obtida mostrou-se abaixo da média nacional, fato justificado pela incidência de geada ocorrida no mês de agosto na região que prejudicou o enchimento dos grãos, diminuindo a produtividade.

Embora tenha sido possível observar diferença estatística significativa entre os tratamentos em relação a produtividade do trigo, não foi possível detectar diferenças para os teores de macronutrientes primários e secundários.

Tabela 1. Produtividade e macronutrientes do trigo.

Tratamentos	Produtividade (kg/ha)	N	P	K	Ca	Mg
T1	1.277,4^{A}	51,61±3,08	2,70±0,21	14,58±1,73	0,08±0,01	0,55±0,05
T2	661,6^{B}	50,63±1,32	2,51±0,11	13,25±2,12	0,08±0,01	0,56±0,07
T3	487,2^{B}	50,97±2,54	2,69±0,22	13,79± 2,28	0,08±0,01	0,57±0,08
T4	492,5^{B}	49,82±0,79	2,56±0,19	13,83± 1,10	0,08±0,01	0,68±0,04
Cv(%)	24,65	4,21	7,16	13,46	11,38	10,20

Nota: T1: adubação organomineral associada ao Microgeo®, T2: adubação mineral associada ao Microgeo®, T3: adubação organomineral, T4: adubação mineral. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% = coeficiente de variação.

Cruz Jr. et al. (2018) objetivaram avaliar a resposta da cultura do trigo sob a influência dos fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. Os autores mostraram que para um bom rendimento da cultura do trigo a utilização de fertilizantes é imprescindível, porém independe da fonte (mineral, orgânico ou organomineral), já que apresentaram respostas similares no desenvolvimento da planta.

Mumbach et al. (2019) também avaliaram diferentes fontes de nutrientes (mineral, organomineral e orgânica) em experimento conduzido em casa de vegetação, avaliando o desenvolvimento inicial do trigo, e o acúmulo de nutrientes na planta e no solo. Os autores não observaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, concluindo que todas as fontes de nutrientes podem ser empregadas na produção de trigo.

CONCLUSÕES

A adubação organomineral associada ao Microgeo® teve um impacto positivo em relação a produtividade da cultura, demonstrando um aumento significativo na produção de grãos. Porém, não se observaram melhorias nas concentrações de macronutrientes foliares, indicando que, embora o uso de adubo organomineral associado ao Microgeo® contribui para a produtividade, sua ação não influencia diretamente a absorção ou a mobilização dos nutrientes essenciais na parte aérea da planta. Esse fato pode estar associado a diversos fatores, como a interação entre os nutrientes, mecanismos regulatórios e as condições climáticas. Desse modo, são necessários estudos futuros que explorem, maiores períodos de aplicação, bem como análise de outros fatores, como nutrientes presentes nos grãos, e análises de solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos parceiros que contribuíram financeiramente para o desenvolvimento do trabalho CAPES, CNPq, PGEAGRI-UNIOESTE e empresa MICROGEO.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**. Brasília: **MAPA**, 2022. 100 p. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/confert/pnf/pnf-v-08-06-12-23.pdf. Acesso em: 4 nov. 2024.

CARGNELUTTI, D.; BAMPI, E.; SANTIAGO, G. M.; LUZ, V. C.; GARBIN, E.; CASTAMANN, A.; MOSSI, A. J. Soluções tecnológicas emergentes para uma agricultura sustentável: microrganismos eficientes. *In:* HERNÁNDEZ GARCÍA, L. M. (Org.). **Agroecologia: princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável**. Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 31-62. DOI: 10.4322/mp.978-65-991393-9-0.c2.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF: **Conab**, v. 12, safra 2024/25, n. 4, quarto levantamento, janeiro 2025. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 01 jan. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Trigo: análise mensal**. Brasília, DF: Conab, jan. 2024. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 10 ago. 2024.

COSTA, D. P.; SILVA, T. G. E.; ARAÚJO, A. S. F.; PEREIRA, A. P. A.; MENDES, L. W.; BORGES, W. S.; FRANÇA, R. F.; SILVA, B. A.; SOUZA, C. A. F.; SILVA, R. O.; MEDEIROS, E. V. Soil fertility impact on recruitment and diversity of the soil microbiome in sub-humid tropical pastures in Northeastern Brazil. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 3919, 16 fev. 2024.

MONTEIRO, M. C. H.; DUARTE, A. C. Sustentabilidade da fertilização fosfatada: fontes alternativas de fósforo como fertilizantes agrícolas. **Agrárias** [livro eletrônico]: pesquisa e inovação nas ciências que alimentam o mundo VII, Editora ARTEMIS. ISBN 978-65-87396-51-4. v. 7, p. 1-14, 2021.

MUMBACH, G. L.; GATIBONI, L. C.; BONA, F. D.; SCHMITT, D. E.; DALL'ORSOLETTA, D. J.; GABRIEL, C. A.; BONFADA, E. B. Organic, mineral and organomineral fertilizer in the growth of wheat and chemical changes of the soil. **Braz J Agric Sci**, v. 14, p. 1-7, 2019. https://doi.org/10.5039/agraria.v14i1a5618

EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. [S.l.]: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C.; & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 201p.

NAIK, B.; KUMAR, V.; RIZWANUDDIN, S.; MISHRA, S.; KUMAR, V.; SARIS, P. E. J.; KHANDURI, N.; KUMAR, A.; PANDEY, P.; GUPTA, A. K.; KHAN, J. M.; RUSTAGI, S. Biofortification as a solution for addressing nutrient deficiencies and malnutrition. **Heliyon**, v. 10, p. e30595, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e30595.

PANDEY, A.; TRIPATHI, A.; SRIVASTAVA, P.; CHOUDHARY, K.K.; DIKSHIT, A. Plant growth-promoting microorganisms in sustainable agriculture. Em: **Role of Plant Growth Promoting Microorganisms in Sustainable Agriculture and Nanotechnology**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 1-19. DOI: 10.1016/B978-0-12-817004-5.00001-4.

RAZEM, M.; MOROZOVA, K.; DING, Y.; *et al*. Determination of free and bound antioxidants in Kamut® wheat by HPLC with triple detector (DAD-CAD-MS). **Food Chemistry: X**, v. 21, p. 101216, 2024.

WU, H.; CUI, H.; FU, C.; LI, R.; QI, F.; LIU, Z.; YANG, G.; XIAO, K.; QIAO, M. Unveiling the crucial role of soil microorganisms in carbon cycling: A review. **Science of The Total Environment**, v. 909, p. 168627, jan. 2024.

XIE, J.; XUE, W.; LI, C.; YAN, Z.; LI, D.; LI, G.; CHEN, X.; CHEN, D. Water-soluble phosphorus contributes significantly to shaping the community structure of rhizospheric bacteria in rocky desertification areas. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 18408, 5 dez. 2019.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

VARIABILIDADE ESPACIAL DA SATURAÇÃO POR BASES (V%) EM DOIS SISTEMAS DE MANEJO

Rafael Felipe Mathias[1*], João Paulo Vieira dos Santos[1], Flávio Augusto de Souza Lourenço[1] , Stéphanie Abisag Sáez Meyer Piazza[2], Santos Henrique Brant Dias[3]
[1] Estudante de graduação da UNICESUMAR; [2] Pesquisadora da UNICESUMAR; [3] Professor da UNICESUMAR.
[*]rafaelmathias56@yahoo.com

RESUMO

A saturação por bases (V%) é crucial para a avaliação da fertilidade do solo, influenciando diretamente a disponibilidade de nutrientes e a produtividade agrícola. Este estudo analisou a variabilidade espacial do V% em dois sistemas de manejo (com e sem terraço) em uma área de cultivo de grãos em Cianorte, Paraná. Foram coletadas amostras de solo em 36 pontos distribuídos uniformemente em duas unidades de 2 hectares. O V% foi calculado a partir da relação entre cátions básicos (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}) e a CTC do solo. Na análise geoestatística, com o software Gs+, foi feita semivariogramas e krigagem para modelar a variabilidade espacial. A área com terraço apresentou menor variabilidade do V%, com maior homogeneidade, enquanto a área sem terraço teve maior heterogeneidade, indicando erosão e perda de nutrientes. Assim, o uso de terraços promove distribuição homogênea do V%, melhorando a qualidade do solo e reduzindo a erosão.
PALAVRAS-CHAVE: saturação por bases; variabilidade espacial; terraceamento; krigagem.

INTRODUÇÃO

A saturação por bases (V%), que representa a proporção de cátions básicos em relação ao total de cátions trocáveis no solo, é um parâmetro crítico na avaliação da qualidade do solo e na fertilidade, especialmente em locais cultivados em sistemas agrícolas (WANG *et al.*, 2024). A variabilidade espacial do V% é essencial, pois influencia a disponibilidade de nutrientes para as plantas, impactando a produtividade dos ecossistemas agrícolas, e seu uso possibilita otimizar o manejo, garantindo a sustentabilidade da produção, já que solos com diferentes níveis de V% demandam abordagens diferenciadas.

Os sistemas de manejo de solo, especialmente a prática de cultivo com terraço em oposição ao cultivo sem terraço, apresentam impactos distintos na dinâmica do solo. O cultivo com terraço tem se mostrado eficaz na contenção da erosão e na promoção da retenção hídrica, levando a uma melhor distribuição de nutrientes e V%. Já o manejo sem terraço pode aumentar a variabilidade do V%, pois a água e os nutrientes se dispersam de forma menos controlada. Isso é especialmente relevante em monoculturas de milho, trigo e soja, cujas necessidades nutricionais variam ao longo do tempo e entre os cultivos (ZHANG *et al*., 2022).

Estudos recentes têm utilizado tecnologia de monitoramento e métodos estatísticos, como a análise de regressão espacial e modelos geoespaciais, para mapear a distribuição do V% em diferentes sistemas de cultivo. Essas metodologias revelam uma relação importante entre as práticas de manejo, a estrutura do solo e a variabilidade espacial dos indicadores de qualidade do solo, como o V% (ABEBRESE *et al*., 2024).

A variabilidade espacial do V% afeta significativamente o manejo do solo, portanto, identificar essa variabilidade possibilita um manejo mais eficiente, ajustando práticas de fertilização e irrigação, reduzindo desperdícios e impactos ambientais. Assim, diferentes sistemas de manejo influenciam a produtividade e apresentam desafios e oportunidades para agrônomos e gestores de recursos naturais (CHANG *et al.*, 2022).

O objetivo deste estudo é analisar a variabilidade espacial da saturação por bases (V%) em dois sistemas de manejo do solo. Compreender a dinâmica complexa do V% e suas implicações em sistemas com e sem terraço é importante para melhorar as práticas de manejo agrícola. Este estudo visa contribuir com dados robustos e evidências científicas que possam servir de base para um manejo mais sustentável e eficiente dos solos, promovendo assim a saúde do solo e a produtividade das culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em Cianorte, Paraná, com coordenadas geográficas de -23.628566 e -52.665501, a uma altitude de 470 metros. O solo da área experimental é classificado como argissolo, que é uma tipologia da região noroeste do Paraná propensa ao cultivo de diversas culturas anuais, como soja e milho (LOPES *et al*., 2020). Durante o segundo semestre de 2023, coletaram-se amostras de solo em áreas cultivadas com milho e soja, culturas anuais predominantes na região.

Os dados da Saturação por Bases (V%) foram obtidos a partir da relação entre a soma das bases trocáveis, incluindo cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^{+}) e sódio (Na^{+}), e a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo. A saturação por bases é crucial para a interpretação da fertilidade do solo, sendo uma medida que expressa a proporção de bases em relação à capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (PINHO *et al.*, 2023). O cálculo da saturação por bases deve ser expresso corretamente usando a fórmula:

$$V\% = ((Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+})/CTC)*100$$

As unidades experimentais têm área de 2 hectares cada, uma das áreas com terraço e outra sem terraço, cada unidade teve uma grade de 36 pontos de amostragem, distribuídas de maneira uniforme. Para a coleta seguiu a grade geoespacial fixa estabelecida, o que possibilitou uma avaliação precisa da variabilidade espacial (KOSMA *et al.*, 2022).



Figura 19. Grade amostral das unidades experimentais. CT - Com Terraço e ST - Sem Terraço.

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise geoestatística, que incluiu a modelagem da variabilidade espacial realizada por meio da análise do semivariograma, para avaliar a variabilidade espacial das amostras e permitindo a caracterização da dependência espacial das variáveis estudadas (AWE *et al*., 2018). Para tal, o software Gs+ foi utilizado, uma ferramenta especializada na realização de krigagem, permitindo um entendimento aprofundado da distribuição espacial dos atributos do solo (LOPES *et al*., 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A compreensão da distribuição do V% é crucial para a avaliação da qualidade do solo, especialmente em condições de manejo intensivo, onde práticas inadequadas podem levar à degradação. Essa análise geoestatística, fundamentada em métodos de krigagem e variogramas, permite retratar as características das unidades experimentais e a resposta do solo às intervenções de manejo.

A grade amostral foi estabelecida para proporcionar uma avaliação uniforme, o que é essencial para a precisão das análises da variabilidade espacial do V%, pois garante que os dados coletados sejam representativos das condições do solo em cada sistema de manejo. Em áreas com terraços, a conservação do solo e a retenção de água promovem uma distribuição mais homogênea dos nutrientes e da saturação por bases, mitigando os efeitos adversos da erosão (WANG *et al.*, 2024).

Os variogramas isotrópicos apresentados revela detalhes importantes sobre a variabilidade espacial do V% nas parcelas (Figura 20). A análise dos parâmetros de ajuste sugere que a presença de terraços contribui para uma maior homogeneidade das propriedades do solo, minimizando a variabilidade do V% em comparação a áreas não tratadas (MESFIN *et al.*, 2019).

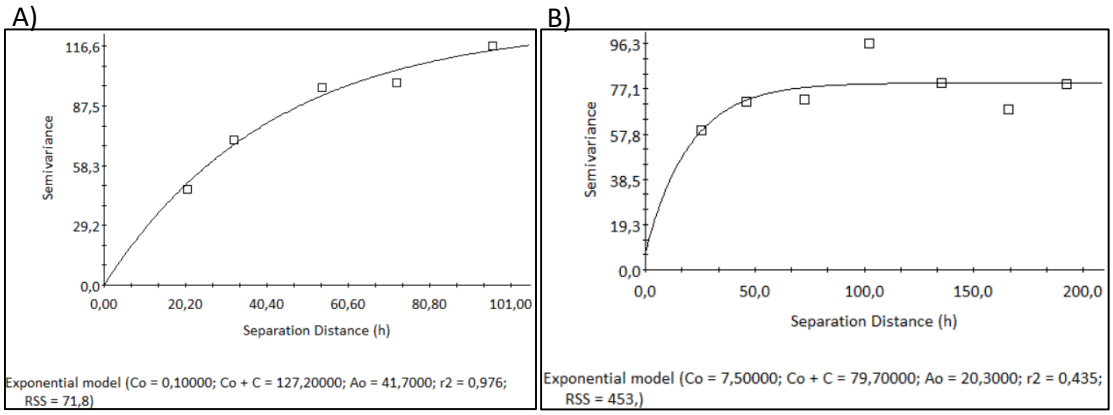


Figura 20. Variograma isotrópico das megaparcelas. A) Com terraço, B) Sem terraço

O nugget (Co) acima indica que existe uma correlação positiva entre as amostras próximas, enquanto o alcance (Ao) fornece informações sobre a distância máxima na qual a correlação é significativa. Isso reflete o impacto do manejo conservacionista, que promove a melhoria e a uniformização das propriedades do solo.

Em contraste, o semivariograma da área sem terraço mostra um aumento notável na variabilidade do V%. O nugget mais elevado e o alcance reduzido indicam uma estrutura espacial com maior heterogeneidade e menor continuidade. Essa diferença é atribuída à falta de práticas que conservem a água e os nutrientes no solo, resultando em erosão mais acentuada e na destruição da estrutura do solo.

As condições de manejo convencional, que normalmente envolvem a horizontalização das superfícies, podem exacerbar essa variabilidade, dificultando a uniformidade das características químicas e físicas do solo. O modelo 2D da krigagem na variação de V% nas áreas de terraço e sem terraço (**Figura 21**) ilustra evidentes zonas de altas e baixas concentrações de saturação por bases (EZECHIEL, 2019).

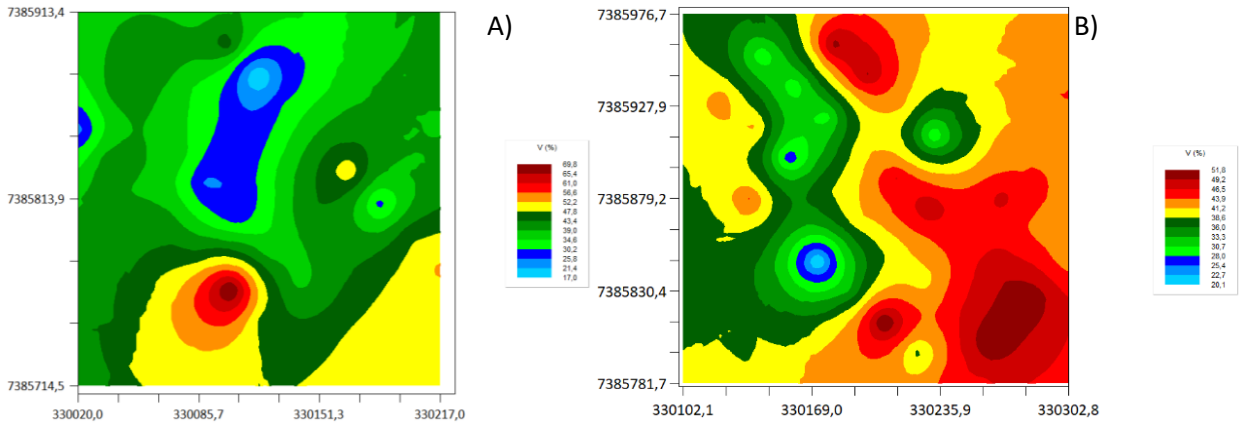


Figura 21. Modelos 2D da Krigagem na distribuição de V% nas megaparcelas. A) Com terraço, B) Sem terraço.

Essas zonas são indicativas de locais onde a água da chuva e os nutrientes são mais efetivamente retidos, refletindo a eficácia dos terraços na promoção da fertilidade do solo. O manejo adequado, aliado à construção de terraços, não apenas ajuda na retenção de água, mas também na diminuição da erosão, resultando em uma distribuição mais satisfatória dos nutrientes necessários para a cultura (LULIRO *et al.*,

2022). Por outro lado, a análise do modelo de krigagem na área sem terraço evidencia um padrão de distribuição mais errático do V% em relação à área com terraço.

A ausência de terraço contribui significativamente para uma maior heterogeneidade nas propriedades do solo, que pode estar relacionada à perda acentuada de solo e nutrientes por meio da erosão, além de eventuais compactações decorrentes dos processos de manejo inadequado (WANG *et al.*, 2024). Com isso nota-se a necessidade de intervenções práticas nas áreas não tratadas, a fim de restaurar sua capacidade de retenção hídrica e de nutrientes visando a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo ressaltam a importância da implementação de práticas de manejo sustentável, como o uso de terraços, na configuração da distribuição do V% e na melhoria das propriedades do solo. A integração de estratégias que minimizem as perdas de solo e de nutrientes não só potencializa a qualidade do solo, mas também desempenha um papel crítico na mitigação dos efeitos da erosão e na maximização da produtividade agrícola.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente à Rede Paranaense de Agropesquisa, ao SENAR-PR, à Fundação Araucária e a todos os parceiros acadêmicos e técnicos que, com sua dedicação e apoio financeiro, tornaram possível a condução deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

ABEBRESE, D. K. *et al*. Assessing the effects of different tillage systems on selected physical and chemical properties of a silty clay loam soil under different field conditions in the Czech Republic. **Soil Use and Management**, v. 40, n. 1, p. e13007, jan. 2024.

AWE, G. *et al*. Geostatistical Evaluation of Spatial Variability of Selected Soil Physical Properties under Different Crops in Ado Ekiti, Nigeria. **Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 3, n. 1, 8 maio 2018.

CHANG, Y. *et al*. Spatial Distribution of Leisure Agriculture in Xinjiang and Its Influencing Factors Based on Geographically Weighted Regression. **Sustainability**, v. 14, n. 22, p. 15002, 13 nov. 2022.

EZECHIEL, N. Impact of Radical Terracing on Chemical Properties of the Soil a Case of Nyabihu District, Rwanda. **International Journal of Natural Resource Ecology and Management**, v. 4, n. 2, p. 50, 2019.

KOSMA, C. *et al*. Assessing Spatial Variability of Soil Properties in Mediterranean Smallholder Farming Systems. **Land**, v. 11, n. 4, p. 557, 9 abr. 2022.

LOPES, K. A. D. L. *et al*. Variabilidade Espacial De Atributos Químicos De Um Argissolo Amarelo Distrocoeso Em Diferentes Densidades De Amostragem. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 2, p. 29–42, 22 nov. 2020.

LULIRO, N. D. *et al*. Spatial Patterns of Infiltration on a Bench Terraced Hillslope in Kigezi Highlands, South-Western Uganda. **African Journal of History and Geography**, v. 1, n. 1, p. 1–20, 28 jun. 2022.

MESFIN, S. *et al*. Spatial Variability of Soil Moisture in Newly Implemented Agricultural Bench Terraces in the Ethiopian Plateau. **Water**, v. 11, n. 10, p. 2134, 14 out. 2019.

PINHO, T. *et al*. Comparação de ensaios de capacidade de troca catiónica em argilas. **Revista de Ciência Elementar**, v. 11, n. 4, 30 dez. 2023.

WANG, Z. *et al*. Mechanical terracing regulates soil physicochemical properties and infiltration processes in the Loess Hilly Region of China. **Land Degradation & Development**, v. 35, n. 9, p. 3181–3190, 30 maio 2024.

ZHANG, F. *et al*. Agricultural Science and Technology Innovation, Spatial Spillover and Agricultural Green Development—Taking 30 Provinces in China as the Research Object. **Applied Sciences**, v. 12, n. 2, p. 845, 14 jan. 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MAPAS TEMÁTICOS DA FERTILIDADE DO SOLO E RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO DE FÓSFORO (P) EM SEBERI (RS)

Sandro Luciano Barreto Fensterseifer[1], Andressa Ciganski[2]
[1]Doutor em Engenharia Florestal, Docente do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal (UFSM), Frederico Westphalen – RS; [2]Estudante de graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Campus Frederico Westphalen - RS, *SandroLBF@gmail.com *aciganski@gmail.com

RESUMO

O mapeamento da fertilidade do solo é essencial para otimizar o uso de fertilizantes na agricultura. Este trabalho teve como objetivo utilizar a metodologia de adubação por taxa variável para elaborar mapas temáticos da fertilidade do solo e recomendações de adubação de fósforo (P) no município de Seberi (RS), utilizando o aplicativo ArcGIS. Os mapas foram gerados a partir de métodos de interpolação espacial baseados nos valores de P em kg/ha. A aplicação por taxa variável resultou em 17.253,79 kg/ha, enquanto a aplicação convencional seria de 24.448,25 kg/ha, resultando em uma economia de 7.194,46 kg/ha. Os resultados mostram que a taxa variável reduz significativamente a quantidade de fertilizantes aplicados, destacando a importância da agricultura de precisão para manejo eficiente e sustentável dos recursos agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão; fertilidade do solo; mapas temáticos; taxa variável.

INTRODUÇÃO

O mapeamento temático é uma ferramenta essencial na agricultura de precisão, permitindo avaliar a fertilidade do solo e orientar a aplicação de insumos de forma localizada e eficiente (SBCS, 2004). O fósforo (P) é um nutriente vital para a cultura da soja, mas sua distribuição no solo pode variar significativamente. A aplicação convencional de fertilizantes, que utiliza doses uniformes, muitas vezes resulta em desperdício em áreas com altos teores de P e aplicação insuficiente em regiões deficitárias.

A elaboração de mapas temáticos com base em métodos de interpolação espacial permite identificar essa variabilidade e otimizar a adubação, reduzindo custos e impactos ambientais. Este estudo visa gerar mapas de fertilidade e recomendações de adubação de fósforo no município de Seberi (RS), utilizando o software ArcMap.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Informação da UFSM - Campus Frederico Westphalen, abrangendo uma área de 643,375 hectares em Seberi (RS). A escolha do município se deu por sua relevância na produção de soja e pelas necessidades agrônomas locais de manejo eficiente do solo.

O software ArcGIS (Extensão ArcMap) foi utilizado para geração dos mapas, devido à sua capacidade de realizar análises espaciais detalhadas.

Os dados foram obtidos através de amostras do solo, coletadas em pontos estrategicamente distribuídos na área de estudo e submetidos a cálculos no Field Calculator.

Parâmetros considerados para recomendação de adubação:

- Fertilidade de P: aplicação de 38 kg/ha para a cultura da soja.

A metodologia incluiu a geração de mapas de fertilidade e adubação de P através de métodos de interpolação espacial (Spatial Analyst Tools), permitindo a representação visual dos valores de P no campo. A utilização do interpolador garantiu uma estimativa precisa dos valores em locais não amostrados, ampliando a confiabilidade dos resultados e possibilitando a identificação de áreas com deficiência ou excesso do nutriente.

Além disso, foram criados layouts padronizados para os mapas, incluindo coordenadas, escalas e legendas informativas, garantindo clareza na interpretação dos dados. A visualização gerada pelos mapas serviu como uma ferramenta estratégica para orientar o manejo localizado de insumos, permitindo ao produtor tomar decisões com base em evidências geográficas e agronômicas consistentes. Os resultados obtidos foram comparados entre aplicações por taxa variável e aplicação convencional, proporcionando uma base quantitativa para análise crítica dos dois modelos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas gerados demonstraram a distribuição espacial dos valores de fertilidade de fósforo (P):

- **Fertilidade de P:** A aplicação por taxa variável resultou em 17.253,79 kg/ha. Na aplicação convencional, a área total de 643,375 ha demandaria 24.448,25 kg/ha, evidenciando uma redução de 7.194,46 kg/ha.

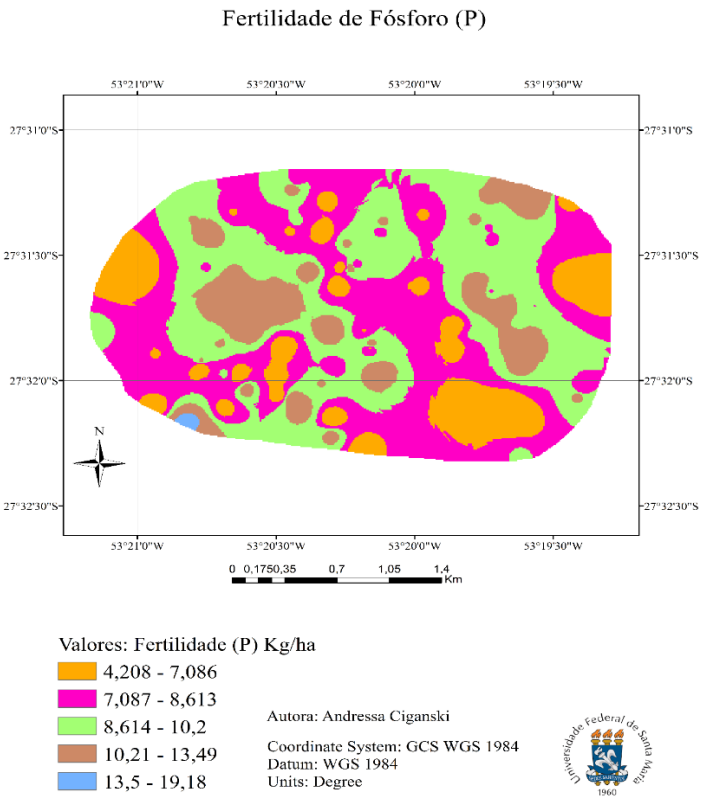


Figura 1. Mapa temático da distribuição espacial da fertilidade de fósforo (P) no solo em Seberi (RS).

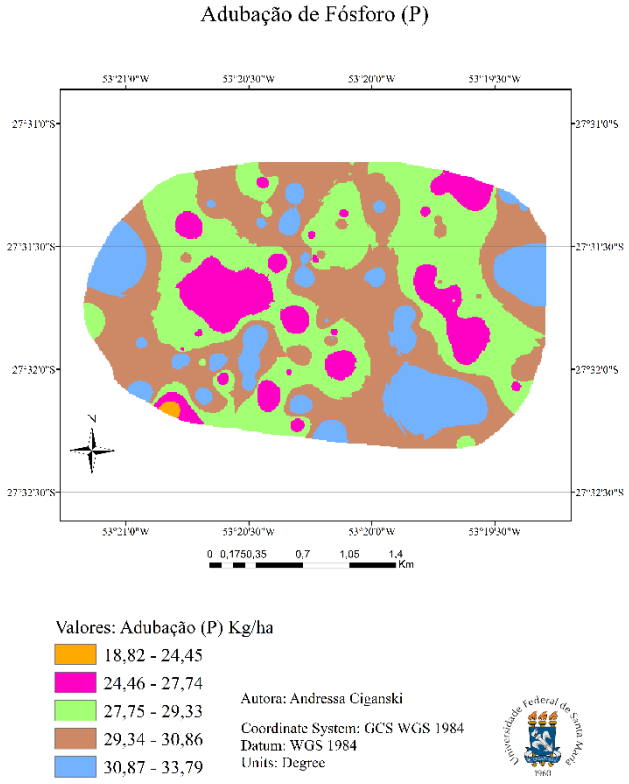


Figura 2. Mapa temático da distribuição espacial da adubação de fósforo (P) no solo em Seberi (RS).

Os mapas de fertilidade gerados permitiram identificar regiões com teores elevados e baixos de P no solo, facilitando a recomendação localizada de adubação. A aplicação convencional, que não considera a variabilidade espacial, resulta em uso ineficiente de fertilizantes, com desperdício em áreas já supridas e falhas em regiões carentes do nutriente.

A aplicação por taxa variável, por outro lado, reduz significativamente a quantidade total de fertilizantes aplicados, garantindo uma distribuição adequada e impactando positivamente a sustentabilidade e os custos de produção.

CONCLUSÕES

Segundo o objetivo de utilizar a adubação por taxa variável para elaborar mapas temáticos da fertilidade do solo e recomendações de adubação, concluímos que o uso dessa metodologia permitiu identificar a variabilidade espacial do fósforo (P) no solo, otimizando a aplicação de fertilizantes. Os mapas temáticos gerados proporcionaram uma ferramenta eficaz para direcionar o manejo localizado, promovendo economia de insumos e contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola. Além disso, a aplicação de tecnologias geoespaciais, como o ArcGIS, demonstrou ser indispensável para um manejo mais eficiente e preciso, alinhado aos princípios da agricultura de precisão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Santa Maria e ao Professor Dr. Sandro Luciano Barreto Fensterseifer pela orientação e apoio durante a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

BAYER. **Fertilidade do solo.** Disponível em: https://www.agro.bayer.com.br/conteudos/fertilidade-do-solo. Acesso em: 2 nov. 2024.

BERNARDI, Alberto C de C. *et al*. Efeito da calagem e de fertilizantes aplicados a taxa variável nos atributos químicos do solo e custo de produção de pastagem de capim Tanzania manejado intensamente. **Brazil Journal of Biosistens Engineering.** v. 12, p. 368-382, 2018. Disponível em: http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/722/392. Acesso em: 14 dez. 2024.

FAEP – Federação da Agricultura do Estado do Paraná. **Fertilidade do solo.** Curitiba: FAEP, 2021. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10. ed. 2004. Disponível em: https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

SILVA, M. S. L. *et al*. **Agricultura de precisão: mapeamento da fertilidade do solo para aplicação localizada de insumos**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/35800/1/OPB1291.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

IMPACTO DAS CONDIÇÕES DO SOLO NO MOMENTO DA SEMEADURA NA CULTURA DA SOJA MONITORADA POR IMAGENS AÉREAS OBTIDAS POR RPA

Vicente Felipe Cordeiro dos Santos[1*], Leandro Rampim[2], Vitor Hugo Outeiro[2], Carolina Paula de Almeida[3], Luciano Farinha Watzlawick[2]

[1]Estudante do curso de Big Data no Agronegócio da UNICENTRO; [2]Professor do Departamento de Agronomia da UNICENTRO; [3]Professora do Departamento de Ciências da Computação da UNICENTRO. *Email: vicentefelipe359@gmail.com.

RESUMO

O sucesso da implantação da cultura depende do momento da semeadura e das condições do solo, como a umidade, para garantir emergência uniforme. O presente estudo teve como objetivo monitorar o estande final da cultura da soja em função das condições do solo no momento da semeadura, utilizando imagens aéreas obtidas por RPA (*Remotely Piloted Aircraft*). Foram avaliados dois momentos de semeadura: semeadura em solo úmido, com precipitação de 20 mm 24 h antes e precipitação imediata de 30 mm após semeadura (antes); semeadura em solo úmido, 48 h após precipitação de 30 mm e precipitação de 15 mm 24h antes, seguida de precipitação de 10 mm após 24 h da semeadura. O acompanhamento com RPA ocorreu durante as etapas de desenvolvimento da cultura. A partir das imagens, foram gerados os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e GLI (*Green Leaf Index*), que possibilitaram diferenciar os dois momentos de semeadura.

PALAVRAS-CHAVE: índice de vegetação; monitoramento; umidade do solo; semeadura.

INTRODUÇÃO

O manejo sustentável da propriedade rural começa com um planejamento estratégico, que define um esquema de trabalho voltado à conservação do solo e ao uso eficiente dos recursos, aliado à exploração agrícola. Atualmente, esse processo conta com o suporte de máquinas agrícolas para otimizar a produção. A falta de planejamento adequado pode levar ao empobrecimento do solo, redução da produtividade das culturas e, consequentemente, queda do nível socioeconômico e tecnológico da população rural.

Nos últimos anos, a adoção de técnicas avançadas de agricultura de precisão na mecanização agrícola tem sido impulsionada por fatores que favorecem o aumento da renda do produtor. Essa modernização permite investimentos estratégicos no sistema produtivo, especialmente em tecnologias que otimizam o uso dos recursos, reduzem custos e elevam a produtividade. Dentre essas tecnologias, destaca-se o uso de RPAs (*Remotely Piloted Aircraft* - Aeronave Remotamente Pilotada), que têm se mostrado eficazes na coleta de imagens aéreas de alta resolução para o monitoramento de culturas agrícolas. Essas imagens possibilitam a avaliação do estande final da cultura e a geração de índices de vegetação, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o GLI (*Green Leaf Index* - Índice de Folhagem Verde), que podem ser úteis para identificar o vigor das plantas, a uniformidade do desenvolvimento e possíveis falhas na semeadura (CATANI, 2018; EMBRAPA, 2023). O sensoriamento remoto por RPA, portanto, oferece ao produtor rural informações precisas e atualizadas que auxiliam na tomada de decisões agronômicas mais assertivas.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo monitorar o estande final da cultura da soja em função das condições do solo no momento da semeadura, utilizando imagens aéreas obtidas por RPA (*Remotely Piloted Aircraft*).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área experimental da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, campus Cedeteg, localizada no município de Guarapuava-PR, nas coordenadas geográficas

25°23’ 36” S, 51°27’19” O e altitude de 1.120 m, em solo classificado como Latossolo Bruno Distroférrico, sendo a textura do solo classificada como muito argilosa (EMBRAPA, 2006).

Foram monitorados dois momentos de semeadura, sendo o primeiro, semeadura com solo úmido, precedido de precipitação pluviométrica de 20 mm 24h antes. Logo após a semeadura houve precipitação imediata de 30 mm. O segundo tratamento foi semeadura novamente com solo úmido, com intervalo de 48h da precipitação de 30 mm e 24 h de precipitação de 15 mm. Após 24 h da semeadura deste tratamento, houve precipitação de 10 mm.

A implantação da cultura da soja foi realizada com semeadora modelo Cinderela 8 linhas, com haste sulcadora, atuando a 0,25 m de profundidade, para deposição de fertilizantes, acoplada a um trator Case 118 cv. Durante a semeadura, houve uma precipitação pluviométrica repentina, enquanto a operação ainda estava em andamento, impossibilitando a finalização da semeadura da área, sendo que o restante foi semeado em momento posterior, dando origem ao estudo. A semeadura foi realizada no sentido do declive. Todas as aplicações para manejo fitossanitário realizadas na área de cultivo foram realizadas com o uso do drone Dji Agras T10.

A coleta das imagens para monitoramento foi realizada com RPA DJI Mavic 3 Multiespectral, sendo a geração dos ortomosaicos feita no software Agisoft versão 2.0.0 e a criação dos índices de vegetação no software Qgis versão 3.34.7. O processamento foi realizado no computador: Intel Core i7 12700H, placa de vídeo NVIDIA RTX 3050 e memória RAM de 8GB, rodando Windows 11 Pro. Os índices utilizados para este trabalho foram gerados a partir das imagens coletadas no dia 01/03/2025, 102 dias após a semeadura antes de precipitação pluviométrica repentina e 100 dias após a semeadura após precipitação pluviométrica repentina.

O desenvolvimento da cultura da soja foi monitorado por imagens aéreas captadas por RPA, que foram utilizadas para gerar ortomosaicos, com os quais, foram obtidos mapas de índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o GLI (*Green Leaf Index* - Índice de Folhagem Verde).

Para fins de estudo e extração dos dados, os índices tiveram seus valores reclassificados para: 1 = -1 a -0,75 da escala do NDVI ou GLI; 2 = -0,749 a -0,5; 3 = -0,499 a -0,25; 4 = -0,249 a 0; 5 = +0,001 a +0,25; 6 = +0,251 a +0,5; 7 = +0,501 a +0,75; 8 = +0,751 a +1. Os dois momentos de semeadura foram divididos em três imagens, sendo consideradas, três repetições para cada momento de semeadura, para realizar o processamento dos dados e obtenção dos valores médios dos índices de vegetação NDVI e GLI.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os Índices de vegetação NDVI e GLI Figura 1 (F e G) é possível observar a diferença no estande final da cultura nos diferentes momentos de semeadura Figura 1 (C). A diferença pode ser gerada por diversos fatores decorrentes da precipitação repentina no momento da semeadura como, erosão superficial no sulco de semeadura com perdas de solo e sementes e selamento superficial do solo. Segundo Assouline (2004) o selamento superficial, resultante da ação da chuva intensa sobre o solo revolvido, leva à formação de crostas na superfície do solo, dificultando a emergência das plântulas. Além disso, o aumento do escoamento superficial intensifica a erosão hídrica. Sendo assim, o selamento superficial favorece a erosão, que para Lepsch (2011) é uma das principais causas do esgotamento dos solos, sendo intensificada por práticas inadequadas de manejo. No momento da semeadura, fatores como a umidade excessiva do solo, reduzida cobertura vegetal e a semeadura no sentido do declive podem favorecer a erosão no sulco de semeadura. Nessas condições, a precipitação pluviométrica repentina e intensa pode provocar o escoamento superficial, removendo partículas do solo e sementes, sendo identificado pelo NDVI e GLI a redução do estande final da cultura resultante destas complicações.

Na Figura 1 (F e G) observa-se os índices NDVI e GLI (Tabela 1), é possível visualizar diferença entres os momentos de semeadura, na Figura 1 (A, B, D e E), é visto que na presença à campo é notável a diferenciação dos momentos de semeadura. Na Figura 1 (A e B), encontra-se o momento de semeadura após a precipitação pluviométrica repentina, na Figura 1 (D e E) o momento de semeadura antes da precipitação, que promoveu erosão e selamento superficial do solo (ASSOULINE, 2004; LEPSCH, 2011).

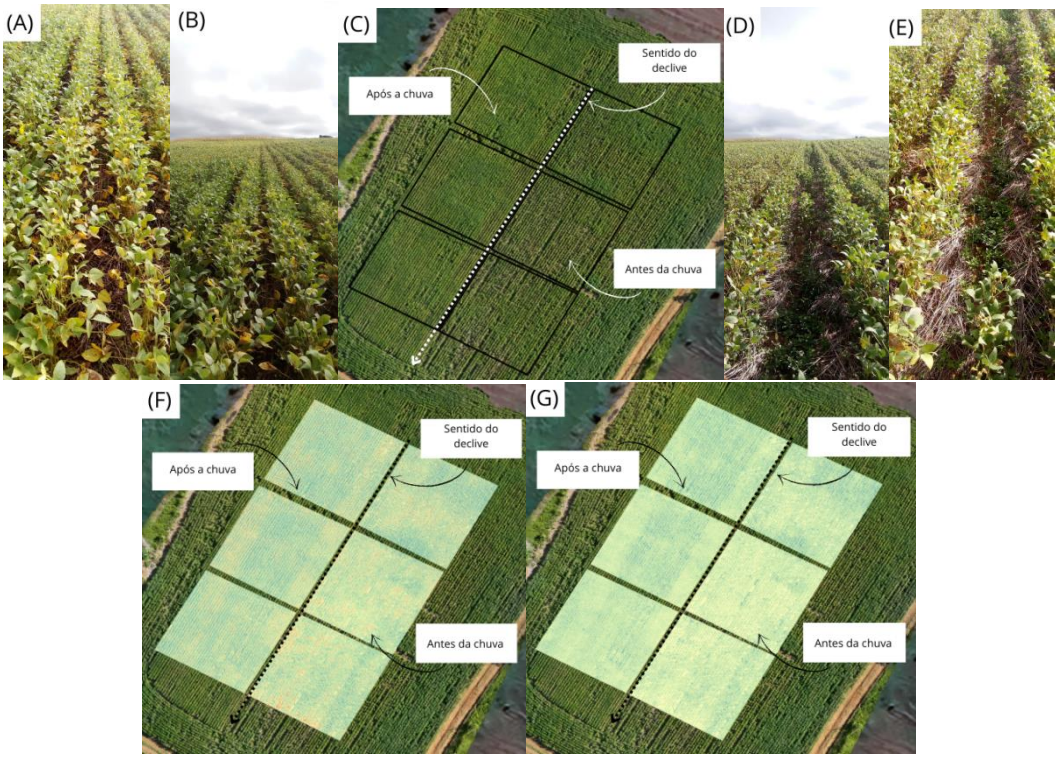


Figura 1. Cultura da soja semeada após precipitação pluviométrica (A) e (B), separação em três imagens por momento de semeadura (C), cultura da soja semeada antes da precipitação (D) e (E), NDVI da soja no dia 01/03/2025 (F), GLI da soja no dia 01/03/2025 (G).

As médias dos valores encontrados para a semeadura após precipitação pluviométrica foram maiores que semeadura antes da precipitação (Tabela 1), o que indica estande final superior. Isso pode ter relação com o selamento superficial do solo e a erosão no sulco de semeadura, que pode ser atenuada quando a semeadura é feita no sentido do declive, para Fuentes-Guevara et al. (2024) quando a semeadura ocorre no sentido do declive a erosão é favorecida, para amenizar a erosão uma alternativa é a construção de terraços juntamente com a semeadura em nível, outra abordagem é a semeadura em nível aliada a rotação de culturas e utilização de mix de cobertura, para os autores é importante que se faça um estudo adequando estas praticas à realidade de cada produtor. Segundo Cruz (2006), a semeadura em nível apresenta perda de solo reduzida quando comparada a semeadura no sentido do declive, devido sulcos de semeadura que favorecem o escoamento da água. Neste viés, Marioti et al. (2013) apontam que o cultivo da soja em nível apresenta diminuição na perda de água em relação ao cultivo a favor do declive. Pensando nisso, é importante o planejamento da operação de semeadura reduzindo assim os riscos da ocorrência de erosão.

Tabela 1. Médias dos índices NDVI e GLI nas três repetições dos dois momentos de semeadura.

Índices de Vegetação	Precipitação pluviométrica repentina							
	Após				Antes			
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Média	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Média
NDVI	5,27	5,26	5,28	5,27	5,16	5,14	5,29	5,19
GLI	6,44	6,35	6,35	6,38	6,32	5,87	6,05	6,08

CONCLUSÕES

Os índices de vegetação NDVI e GLI diferenciam momento de semeadura com diferentes condições de solo para implantação da cultura.

É importante o uso integrado de todas as ferramentas disponíveis, a fim de proporcionar uma tomada de decisão mais assertiva e eficiente, assim como a adoção das técnicas adequadas para o manejo da cultura, no caso do trabalho na semeadura.

O estudo com índices NDVI e GLI obtido por imagem de RPA fornece subsídios para a adoção de estratégias para aprimorar o manejo da implantação da cultura da soja.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Mecanização e Agricultura de Precisão (NMAP), Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas, ao Laboratório de Física, Manejo e Conservação do Solo e ao Departamento de Ciências da Computação pela realização dos trabalhos de pesquisa. À Fundação Araucária, CAPES, ao CNPq pela Bolsa de Produtividade.

BIBLIOGRAFIA

ASSOULINE, S. Rainfall-induced soil surface sealing: A critical review of observations, conceptual models, and solutions. **Vadose Zone Journal**, v. 3, n. 2, p. 570-591, 2004.

CATANI, R. **Monitoramento temporal da cultura da soja através do sensoriamento remoto com a utilização de um RPA**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CRUZ, E. S. *et al*. **Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo**. 2006.

DIAS-FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação, 2006.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. 2018.

FUENTES-GUEVARA, M. D. *et al*. Mixture of winter cover crops reduces surface runoff and sediment production under no-tillage system for Oxisols. **Land Degradation & Development**, v. 35, n. 6, p. 2145-2156, 2024.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. Oficina de textos, 2011.

MARIOTI, J. *et al*. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1361-1371, 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE SOLO SOB PLANTIO FLORESTAL DE EUCALIPTO (*Eucalyptus* spp.)

Helmo Santos Pires[1*], Tamires Souza Caires[2], Raissa Santos Mascarenhas[3]
[1, 2, 3] Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) / Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Bahia, Brasil. [*]helmosantospires@aluno.ufrb.edu.br

RESUMO

A caracterização dos solos faz-se essencial para o manejo agrícola e florestal, especialmente para culturas como o eucalipto (*Eucalyptus* spp.), que exige solos bem drenados e com boa capacidade de retenção hídrica. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo realizar a descrição morfológica do solo em área de plantio florestal de Eucalipto (*Eucalyptus* spp.). Para esse trabalho, seguiu as diretrizes do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo, utilizando ferramentas adequadas para a análise de profundidade, espessura, textura, cor e estrutura do solo. A descrição revelou solos predominantemente argilosos nas camadas superficiais, com transições graduais para horizontes mais profundos, caracterizados por uma textura moderadamente e extremamente argilosa. A cor dos horizontes varia do castanho acinzentado a castanho amarelado, indicando a possível presença de óxidos de ferro. Portanto, os resultados indicam que a compreensão dessas características é essencial para o manejo adequado e sustentável do solo.

PALAVRAS-CHAVE: pedologia; textura do solo; conservação; classificação.

INTRODUÇÃO

Os solos da Mata Atlântica, em sua maioria, são formados por uma combinação de minerais como argilas, óxidos de ferro e alumínio, e minerais secundários, como a goethita, hematita e gibbsita, que influenciam a drenagem e a capacidade de retenção de nutrientes (Belém, 2015). A formação desses solos está intimamente ligada às condições pedoambientais que prevalecem nas regiões de clima tropical úmido (Benites *et al.,* 2010; Netto *et al.*, 2022). Para o cultivo de eucalipto (*Eucalyptus* spp.), a compreensão dessas características torna-se crucial, pois esse cultivo exige solos bem drenados, com boa estrutura física, capacidade de retenção hídrica e adequados níveis de nutrientes, tendo a descrição morfológica desses solos essenciais para o manejo adequado e para a maximização do potencial produtivo das áreas agrícolas e florestais.

A caracterização mineralógica detalhada dos solos permite o desenvolvimento de práticas de manejo mais eficazes, evitando a degradação e garantindo a sustentabilidade da produção agrícola. Bitencourt e Ribon (2017). Portanto, a análise morfológica do solo é essencial para o entendimento das condições físicas do solo e sua relação com o uso, manejo e conservação da terra. Essa análise permite uma melhor compreensão dos solos em áreas cultivadas. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo realizar a descrição morfológica do solo em área de plantio florestal de eucalipto (*Eucalyptus* spp.).

MATERIAL E MÉTODOS

A descrição morfológica do solo foi realizada em área florestal de *Eucalyptus* spp., de 5,10 hectares localizadas na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), sob as coordenadas 12° 39' 48.12''S e 39° 5' 49.83''W, a 215 metros de altitude. A região possui clima úmido a subúmido, umidade relativa média anual de 80%, temperatura média de 24°C e pluviosidade anual de 1.143 mm (Santos *et al.*, 2015). Para a realização da descrição morfológica, utilizou-se do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo, descritos por Santos (2013), sendo realizado as descrições e caracterizações em trincheiras com profundidades de 1,63 m. Utilizando de ferramentas como: Enxada, trena, canivete, folhas brancas para colocação do material, sacos plásticas para retirada do material amostrado, água para os trabalhos de umedecimento do material, manual de descrição e coleta de solo no campo e Carta de Cores de Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 1954).

Os horizontes do solo foram descritos individualmente, considerando aspectos como cor, textura, estrutura e consistência. A cor foi registrada com a Carta de Cores de Munsell, permitindo a identificação das tonalidades presentes em cada horizonte. A textura do solo foi determinada manualmente, categorizando-o conforme a proporção de areia, silte e argila. Antes da análise detalhada, o perfil do solo foi cuidadosamente limpo para expor as camadas/horizontes do solo. Esse processo permitiu observar as diferenças de cor, compactação e a presença de raízes e outros elementos nas camadas. Em seguida, o solo foi umedecido para facilitar a análise da textura e da estrutura, visto que o solo úmido apresenta uma textura mais uniforme e a formação de agregados pode ser melhor visualizada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A descrição morfológica do solo é essencial para a pedologia, fornecendo análises das características físicas e visíveis do solo, como cor, textura, estrutura e porosidade. No campo, utilizam-se dessas características para identificar os horizontes do solo, enquanto no laboratório, a análise de atributos químicos e físicos complementa essa avaliação. No quadro abaixo estão presentes dados da caderneta de campo do perfil do solo, como horizontes, profundidade, espessura, transição e textura, que auxilia na construção da descrição de cada horizonte.

Quadro 1. Dados da caderneta de campo do perfil em plantio de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) em Cruz das Almas-BA.

Horizontes	Profundidade (cm)	Espessura (cm)	Transição de horizonte	Textura	Observações:
A	0 - 17	17	Clara	Argiloso	Presença elevada de raízes
AB	17 - 37	20	Gradual	Argiloso	Presença de menor raízes
BA	37 - 52	15	Gradual	Moderadamente argiloso	
B1	52 - 103	51	Gradual	Moderadamente argiloso	Presença de manchas
B2	103 - 163	60	Gradual	Extremamente argiloso	Presença de manchas

Fonte: Autores (2025).

Em relação à textura do solo, os horizontes A e AB são classificados como argilosos, com uma transição de horizonte clara para o AB e uma transição gradual entre os horizontes subsequentes. A textura argilosa é favorável à retenção de água e à capacidade de troca catiônica, o que pode beneficiar o cultivo de eucalipto, uma cultura que demanda boa disponibilidade de água no solo (Freitas *et al.*, 2012).

Nos horizontes BA, B1, e B2, a textura se torna gradualmente mais moderadamente argilosa e extremamente argilosa, essas características morfológicas do solo podem impactar a drenagem e aeração do solo, fatores importantes para o crescimento saudável das raízes. Entretanto, o aumento da argilosidade ao longo do perfil pode sugerir uma maior capacidade de retenção de nutrientes no perfil de solo.

As análises de campo revelam a presença de raízes no horizonte A e AB, o que indica uma maior concentração de atividade biológica e crescimento das raízes na camada superficial, como também, a presença de manchas nos horizontes B1 e B2 podem sugerir a existência de processos de redução e oxidação de ferro, frequentemente associados a áreas com variações de umidade. Em solos com transições graduais, como é o caso dos horizontes AB (17-37 cm), BA (37-52 cm), B1 (52-103 cm) e B2 (103-163 cm), o solo apresenta uma mudança gradual nas características de textura, o que pode ser vantajoso, pois permite que as raízes se adaptem de forma mais eficiente às diferentes condições do solo em profundidade. Uma transição muito abrupta entre os horizontes poderia gerar um entrave para o desenvolvimento das raízes.

No quadro 2 encontra-se a classificação de cor do perfil de solo quando seco, essa classificação revela variações de fundamental importância na classificação dos horizontes do solo, tendo em vista que, a cor do solo é uma das características mais importantes e, geralmente, a primeira a ser observada nos perfis de solo.

Quadro 2. Classificação de cor do solo quando seco do plantio de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) em Cruz das Almas-BA.

Horizonte (seco)	**Profundidade (cm)**	**Carta de Munsell**	**Cores** (correspondentes ao português)
A	0 - 17	2.5Y 3/2 Very Grayish Brown	Castanho acinzentado
AB	17 - 37	2.5Y 4/3 Olive Brown	Castanho oliva
BA	37 - 52	2.5Y 4/3 Olive Brown	Castanho oliva
B1	52 - 103	2.5Y 4/4 Olive Brown	Castanho oliva
B2	103 - 163	10YR 4/6 Dark Yellowish Brown	Castanho amarelo escuro

Fonte: Autores (2025).

A cor é determinada com o auxílio da Escala de Munsell, que classifica a cor com base em três parâmetros: matiz, valor e croma. Essa classificação permite a comparação objetiva entre diferentes amostras e pode indicar a composição do solo, como a presença de matéria orgânica ou óxidos de ferro Oliveira (2008). Essas características ajudam na classificação do solo de acordo com sistemas como o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e fornecem informações cruciais para o manejo agrícola e ambiental, além de orientar práticas sustentáveis para a conservação do solo (Lepsch, 2011).

No horizonte superficial (A), apresenta um tom acinzentado, essa cor sugere a presença de matéria orgânica. Já nos horizontes mais profundos, há uma variação gradual, a cor varia do Olive Brown ao Dark Yellowish Brown, indicando uma possível variação de oxidação e a presença de óxidos de ferro no solo, em especial goethita.

CONCLUSÕES

A análise das características morfológicas do solo, como textura, cor e estrutura permite entender as condições do solo e identificar aspectos relevantes à drenagem e a práticas que favoreçam a sustentabilidade da produção, otimizando o uso do solo, garantindo a saúde das plantas e maximizando a produtividade nas áreas de plantio florestal.

BIBLIOGRAFIA

BENITES, V. D. M.; MOUTTA, R. D. O.; COUTINHO, H. L. D. C.; & BALIEIRO, F. D. C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, v. 34, p. 685-690, 2010.

BELÉM, R. A. **Atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos e sua relação com os biótopos do Parque Estadual da Mata Seca, município de Manga, norte de Minas Gerais.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

BITENCOURT, L. F. C. e RIBON, A. **Caracterização morfológica de solo sob plantio direto da fazenda bom sucesso no município de Palmeiras de Goiás.** *In:* Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE)(ISSN 2447-8687). 2017.

FREITAS, D. A. F. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L., & CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 417-428, 2012.

LEPSCH, I. F. **19 lições de Pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 456 p, 2011.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Color Soil Charts.** Baltimore, Mad. USA, 1954.

NETTO, A. F. R.; GAMA-RODRIGUES, E. F. **Distribuição de agregados do solo sob diferentes coberturas vegetais no bioma Mata Atlântica**. *In:* Congresso Fluminense de Pós-Graduação-CONPG. 2022.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: Fealq, 592p. il, 2008.

SANTOS, D. D.; COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L.; SANTOS JÚNIOR, J. A., COELHO FILHO, M. A., & BATISTA, R. O. Influência do balanço de sais sobre o crescimento inicial e aspectos fisiológicos de mamoeiro. **Revista Magistra.** Cruz das Almas-BA, v.27, n.1, p. 44-53, 2015.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo.** 6ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa, 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA PARA PLANEJAMENTO AMBIENTAL E URBANO

Carolina Mocelin Gomes Pires[1*], Kerolaine Woitchik[2], Jairo Calderari de Oliveira Junior[3]
[1*]Doutoranda, Universidade Federal do Paraná. E-mail: carolinamocelin@ufpr.br, [2]Mestranda, Universidade Federal do Paraná;
[3]Professor, Universidade Federal do Paraná

RESUMO

A Formação Guabirotuba é caracterizada pela presença de arenitos, argilitos e arcóseos em sua composição litológica, e abrange grande parte de Curitiba e Região Metropolitana. A expansão das zonas residenciais e industriais ocorre de forma pouco planejada, onde impactos ambientais não são mensurados ou considerados. O objetivo do presente trabalho foi classificar um perfil de solo típico da uma Região Metropolitana de Curitiba (PR) e avaliar as lacunas deixadas pelo sistema de classificação quanto a sua utilização para o planejamento ambiental e urbano mais eficiente, propondo futuras melhorias para o local. Para isso, foi realizada a descrição morfológica de um perfil e a caracterização dos horizontes por meio de análises físicas e químicas. O perfil apresentou quatro horizontes de textura argilosa, com algumas camadas de petroplintita. Todos os horizontes apresentaram argila de alta atividade. Face aos resultados, o solo estudado foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico, em que a alta atividade da argila implica em menor permeabilidade e instabilidade estrutural e é indicada na classificação, mas a presença de petroplintitas, importante limitante ambiental, não é mencionado.

PALAVRAS-CHAVE: Cambissolo, planejamento urbano, plano diretor, petroplintita

INTRODUÇÃO

O solo é considerado um corpo natural, trifásico que oferece diversas funções aos seres vivos, entre elas a produção de alimentos, a purificação das águas, a regulação do clima e a infraestrutura (Reddy e Das, 2023). Embora a classificação de solos configure como importante ferramenta para sintetizar o conhecimento sobre os atributos do solo em questão, em muitos casos a classificação é imprecisa, faltando informações para planejamento urbano e ambiental (Easher *et al*., 2023).

A região metropolitana de Curitiba (RMC) encontra-se sobre a bacia sedimentar de Curitiba, que corresponde à unidade geológica denominada de Formação Guabirotuba. O material sedimentar dessa formação apresenta em sua composição litológica arenitos, argilitos e arcóseos. Os solos da Formação Guabirotuba, em geral, são classificados como argilosos, onde a composição predominante mineralógica das argilas são as esmectitas com hidróxi entre camadas (EHE). Porém, devido aos processos de intemperismo, tem-se a ocorrência de argilas cauliníticas nos sedimentos superficiais (Kormann, 2002).

Embora existam estudos relacionados à Formação Guabirotuba (Kormann, 2002), ainda há lacunas a serem preenchidas em relação a classificação dos solos derivados dessa formação. Uma classificação mais ampla pode auxiliar no manejo e na prevenção de diversos fatores de risco, tais como: assoreamento de rios, acidentes rodoviários, e processos erosivos, preservando o meio ambiente e os seres vivos. Além das considerações agronômicas, a caracterização e mapeamento de solos associados a um planejamento ambiental urbano, permitem a elaboração de um plano diretor eficiente para as cidades. Entretanto, o mapeamento convencional de solos apresenta uma elevada variabilidade espacial, resultando em imprecisões em suas classificações. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi classificar o solo de uma região do município de Colombo (PR) de forma pontual, visando a avaliação potencial do solo em relação à expansão urbana, bem como as suas limitações.

MATERIAL E MÉTODOS

As atividades de campo foram baseadas na metodologia do Guia Prático de Campo (IBGE, 2015). As análises físico-químicas foram realizadas em laboratório, seguindo a metodologia proposta no Manual de Métodos de Análises de Solos (Embrapa, 2017).

O perfil escolhido para o presente trabalho está localizado no município de Colombo (PR), sob as coordenadas 25°22’25.6”S 49°07’55.4”O, a uma altitude de 928 m acima do nível médio do mar. A formação geológica regional corresponde à Formação Guabirotuba. Com relação a litologia, tem-se a ocorrência de argilitos, arenitos e de arcóseos (Oliveira *et al*., 2011). O relevo local é plano, com 1,7% de declive, com vegetação primária de floresta ombrófila mista. A escolha do perfil do solo teve como objetivo representar a paisagem do local, buscando um perfil que retratasse o solo mais comum da região. O perfil foi aberto até a profundidade de 160 cm, abrangendo os horizontes A, AB, B e C. Além disso, foi realizada uma descrição morfológica geral, de acordo com o Guia Prático de Campo do IBGE (2015).

A coleta de amostras foi realizada no terço médio da encosta. Para evitar a mistura de materiais, as coletas foram realizadas a partir do horizonte mais profundo (C) ao mais superficial (A). As amostras foram armazenadas para posterior análises físicas e químicas. O preparo das amostras consistiu em secagem a 40 °C por 24 h, e, posteriormente, passadas em peneira com malha de abertura de 2 mm (Embrapa, 2018). Para determinação do teor de areia, de silte e de argila, foi utilizado o método do hidrômetro (Bouyoucos). Na sequência, foi determinada a classe textural de cada amostra via triângulo textural do solo (Embrapa, 2018). Análises químicas realizadas foram: acidez ativa (pH), pH em cloreto de cálcio ($CaCl_2$) a 0,01 mol L^{-1} e acidez potencial (pH SMP). Para a análise de cátions trocáveis (Al^{3+}, Ca^{2+} e Mg^{2+}) foi realizada uma extração com cloreto de potássio (KCl). Posteriormente, os cátions foram quantificados via absorção atômica (AA). Para determinação do teor de fósforo (P) e potássio (K) disponíveis, foi empregada a solução extratora de Mehlich I (0,05 mol L^{-1} de HCl e 0,025 mol L^{-1} de H_2SO_4). A quantificação de P e K foram realizadas via fotometria de chama. Para determinação do carbono orgânico total (COT) das amostras, foi utilizado o método colorimétrico seguida da quantificação via espectrometria UV-VIS. A classificação do perfil do solo foi realizada empregando a metodologia do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A descrição morfológica e as análises físicas e químicas são apresentadas a partir da **Tabela 7** até a **Tabela 9**. As características do perfil mostraram que a cor dos horizontes variou de bruno-escuro (7,5 YR 3/4) a bruno-forte (7,5 YR 4/6). Com relação à classe textural, o horizonte A apresentou textura argilo-arenosa e os demais horizontes textura argilosa.

O horizonte A não possui atributos que possibilite caracterizá-lo como chernozêmico, húmico, proeminente ou fraco (**Tabela 8** e **Tabela 9**). Desta forma, por exclusão, o horizonte foi classificado como A moderado (SIBCS, 2018). Foi observado ao longo do perfil a presença de cerosidade classificada como pouco e fraca. A consistência dos horizontes foi caracterizada como friável, e a plasticidade variou entre não plástica e ligeiramente plástica. Além disso, a forma da estrutura dos agregados variou entre granular e blocos angulares. Com relação aos horizontes subsuperficiais, o horizonte B apresentou pequena espessura (35 cm), e mesmo com o horizonte A se enquadrando em outra classe textural, a variação no teor de argila entre os horizontes A e B não foi suficiente para diagnosticar gradiente textural e o processo de argiluviação (RT; Argila B/Argila A = 1,08), que poderia resultar em horizonte B plânico, B textural (Bt) ou B nítico, este último necessitária também de cerosidade mais forte e abundante para enquadramento como tal.

Apesar da relação silte/argila apresentar valores baixos (**Tabela 8**), a atividade da fração argila apresentaram valores altos, indicando que processo de dessilicação está em estágio incipiente, descartando a formação de um horizonte B latossólico pelo processo de ferralitização. A ausência de hidromorfismo no perfil também exclui a possibilidade dos processos de gleização, muito comum em solos da região e que

apresentam grande variabilidade espacial (Oliveira Junior *et al.,* 2014). Embora haja a presença de plintita e petroplintita nos horizontes B e C, respectivamente, essas representam menos de 15% do volume do horizonte, sendo insuficiente para caracterizar o horizonte como plíntico ou concrecionário. Desta forma, o horizonte subsuperficial diagnóstico definido para o perfil foi B incipiente. Considerando os horizontes diagnósticos superficiais, subsuperficiais e os atributos diagnósticos, o perfil foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico. Especificamente aos atributos químicos, destaca-se a redução dos valores de V(%) em profundidade, variando de 17% a 7,5%, enquanto que os valores referentes a saturação de alumínio (m%), aumentaram com a profundidade (**Tabela 9**).

Tabela 7. Descrição morfológica dos horizontes A, AB, B e C

		Propriedades texturais				Consistência	Plasticidade	Transição
Horizonte	Cor	Grupo	Grau	Classe	Forma	(úmida)		
A	7,5 YR 3/4	Areia	Fr	MP	GP	Friável	NP	OG
AB	7,5 YR 4/4	Argila	Fr	MP	GP	Friável	NP	OG
B	7,5 YR 5/6	Argila	Fr	PQ	GP	Friável	LP	OG
C	7,5 YR 4/6	Argila	Mod	M	BA	Friável	LP	O

Fr: fraca; Mod: moderada; MP: muito pequena; PQ: pequena; M: média; GP: granular prismática, BA: blocos angulares; NP: não plástica, LP: ligeiramente plástica; OG: ondulada a gradual; O: ondulada

Tabela 8. Granulometria, relação silte-argila e teor de carbono orgânico dos horizontes

	Prof[1]	Granulometria terra fina (g kg^{-1})				COT[2]	P	Ativ[3]
Horizonte	(cm)	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila	(g kg^{-1})	(mg kg^{-1})	(cmol$_c$ kg^{-1})
A	0-	460	115	425	0,27	14,78	1,05	42
AB	35-	425	100	475	0,21	15,83	1,07	32
B	55-	375	113	513	0,22	10,51	0,89	33
C	90^{+}	338	163	500	0,33	6,43	0,36	37

[1]Prof: Profundidade do horizonte; [2]COT: Carbono Orgânico Total; [3]Ativ: Atividade da fração argila

Os valores de pH em água variaram de 4,4 a 4,7 (**Tabela 9**). Os valores de pH em KCl variaram de 3,8 a 4,0 nos horizontes. Desta forma, verifica-se que o perfil de solo em análise apresenta elevada acidez. Os valores de capacidade de troca catiônica (CTC) oscilaram entre 15,4 cmol$_c$ kg^{-1} a 18,6 cmol$_c$ kg^{-1}, com predomínio de H^{+}. Em relação ao V%, os horizontes diagnósticos foram classificados como distrófico (V < 50%), o que pode ser indicativo de práticas de calagem na área. Entretanto, ao longo dos horizontes, a atividade da fração argila foi superior a 27 cmol$_c$/kg, sendo caracterizado como solo com argila de alta atividade (Ta).

Tabela 9. Análises químicas para os horizontes A, AB, B e C

Horizonte	pH		Complexo sortivo (cmol$_c$ kg^{-1})							Valor V	Valor m	PST[1]
	H_2O	KCl	Ca+Mg	K	Na	Valor S	Al	Al+H	Valor T	(%)	(%)	(%)
A	4,7	3,9	1,55	0,5	0,7	2,8	2,4	15,2	18,0	15,5	11,7	4,1
AB	4,7	4,0	1,79	0,1	0,8	2,6	2,2	12,7	15,4	17,2	12,3	5,1
B	4,5	3,8	1,10	0,1	0,3	1,4	2,3	15,6	17,0	8,5	11,8	1,7
C	4,5	3,8	0,62	0,1	0,7	1,4	3,4	17,2	18,6	7,5	15,6	3,9

[1]PST: Porcentagem de sódio trocável (Na*100/CTC)

A presença de petroplintita no perfil favorece a formação de camadas semipermeáveis, dificultando o fluxo de água e impedindo o desenvolvimento das plantas bem como reduzindo o papel do solo como agente filtrante de potenciais poluente, o que pode contribuir para a degradação do solo e do ambiente. Esta condição associada ao crescimento urbano de forma não ordenada em uma região de Cambissolos – com menor aptidão para suporte de construções civis– podem incorrer à degradação severa do solo, levando à possíveis danos aos seres humanos. A alta atividade da fração argila no perfil estudado também é um atributo que imprimi grandes limitações ambientais, pois confere ao solo maior expansividade e contratilidade comparado ao solo com argila de atividade baixa, implicando em maior instabilidade de construções e redução do fluxo hídrico. Porém, a alta atividade da argila foi identificada na classe pelo SiBCS.

CONCLUSÕES

No presente trabalho foram realizadas análises químicas, físicas e morfológicas para a classificação de solo do município de Colombo (PR). O solo em estudo foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico. O sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS) contemplou um importante atributo do solo que é a alta atividade da argila, que impacta diretamente na estabilidade do terreno e de construções, além da permeabilidade do solo. Porém, a presença de petroplintita, em profundidade relativamente rasa, não foi contemplada no SiBCS. Esse atributo é de grande importância, pois reduz o fluxo hídrico, diminuindo a capacidade de recarga de corpos hídricos e, também, o papel do solo de atuar como filtro de potenciais poluentes. Recomenda-se que a presença de petroplintita seja incorporada ao SiBCS para que o sistema possa ser utilizado por outras áreas da sociedade, além da agronômica. A classificação também pode ser útil para as engenharias ambiental e civil, tanto para o planejamento urbano como ambiental, em que essas áreas tenham especial atenção em seu uso e ocupação.

BIBLIOGRAFIA

EASHER, T.H., SAURETTE, D., CHAPPELL, E., LOPEZ, F. DE J.M., GASSER, M.O., GILLESPIE, A., HECK, R.J., HEUNG, B., BISWAS, A. Sampling and classifier modification to DSMART for disaggregating soil polygon maps. **Geoderma** v. 431, 116360, 2023. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2023.116360

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html?localidade=41

KORMANN, A. C. M. **Aspectos geológicos da Formação Guabirotuba**.2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Solos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-20072009-092526/pt-br.php

OLIVEIRA, J.C DE., DE PAULA SOUZA, L.C., MELO, V. DE F., DA ROCHA, H.O. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de solos da Formação Guabirotuba, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1481–1490, 2011. https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500002

OLIVEIRA, J. C. DE; MELO, V. F.; SOUZA, L. C. P.; ROCHA, H. O. da. Terrain attributes and spatial distribution of soil mineralogical attributes. **Geoderma**, v. 213, p. 214-225, 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.020

REDDY, N.N., DAS, B.S. Digital soil mapping of key secondary soil properties using pedotransfer functions and Indian legacy soil data. **Geoderma** v. 429, 116265, 2023. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2022.116265

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS)**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA PARA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA EM ESPODOSSOLO DO LITORAL PARANAENSE

Thalia Alves Ferreira[1*], Jairo Calderari de Oliveira Junior[2].
[1] Discente de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná; [2] Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná. E-mail: ferreira.thalia0513@gmail.com

RESUMO

As análises químicas e mineralógicas de rotina apresentam baixa eficiência para estudos de solos arenosos, onde o baixo teor de fração coloidal pode afetar significativamente o comportamento do solo. Como alternativa, a Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectroscopia de Dispersão de Energia (MEV-EDS) tem sido uma importante ferramenta nesses casos, especificamente para área de gênese, em escala microscópica. O objetivo deste trabalho é a caracterização de um perfil de Espodossolo Ferrihumilúvico utilizando a técnica MEV-EDS. Destacaram-se os elementos Ti (0,1 – 1,4%) e Al (0,5 – 4,7%) em todos os horizontes (E, Bh, Bsm e Bhsm) e Fe nos horizontes Bh (0,3%), Bsm (2,7%) e Bhsm (0,3%). Assim sendo, a análise MEV-EDS apresentou resultados de grande valia para este estudo e a identificação de Ti, Al e Fe o que instiga a busca por mais detalhes uma vez que estes elementos estão relacionados ao material de origem, e complexação organo-mineral.

PALAVRAS-CHAVE: pedologia; análise química; solos arenosos.

INTRODUÇÃO

Os métodos convencionais de análises químicas e mineralógicas são pouco efetivos para caracterização de solos arenosos, devido a reduzida quantidade da fração coloidal.

Como uma técnica que permite analisar detalhadamente propriedades químicas e morfológicas, a Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectroscopia de Dispersão de Energia (MEV-EDS) torna-se uma ferramenta de grande utilidade para análises dos constituintes do solo. Esse método permite a observação em escala microscópica de aspectos morfológicos de superfícies, superando as restrições ópticas do olho humano (Baltar *et al*., 2008).

Dessa forma, o MEV-EDS permite estudos que abrangem áreas como por exemplo, práticas de manejo – agregação e distribuição dos poros – (Brizzi *et al*., 2019) e mineralogia – alterações sofridas ao longo do tempo por processos de intemperismo, materiais primários e secundários – (Dias *et al*., 2003; Santos *et al*., 2003).

Para estudos em Espodossolos essa análise permite não apenas a identificação de elementos químicos como Ferro (Fe), Alumínio (Al) e Carbono Orgânico (CO), mas também a visualização da distribuição espacial na amostra, dessa forma, torna-se mais efetivo a interpretação e análise dos processos de eluviação, translocação e cimentação.

Sendo assim, a hipótese do presente trabalho é que por meio da utilização dessa técnica (MEV-EDS) as análises químicas e morfológicas apresentam melhor resolução que as análises de rotina. O objetivo é a utilização da técnica MEV-EDS para caracterização química em Espodossolo Ferrihumilúvico.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Parque Estadual do Palmito localizado no Município de Paranaguá. O perfil de Espodossolo Ferrihumilúvico encontra-se nas coordenadas 25° 35' 14.94" S e 48° 32' 38.20" O. Amostras dos horizontes E, Bh, Bsm e Bhsm foram coletadas em novembro de 2022 (Figura 1), secas ao ar (TFSA) e passadas em peneira de malha 2 mm.

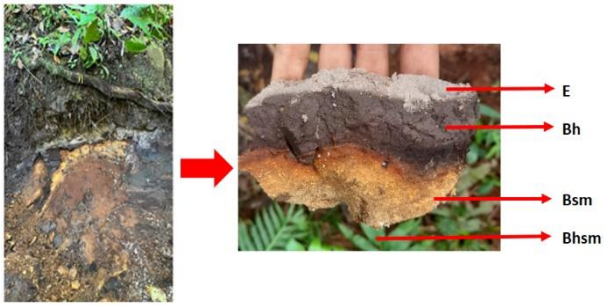


Figura 1. Perfil estudado e camadas descritas.

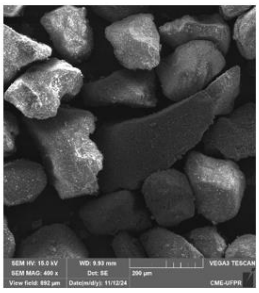
As análises MEV-EDS foram realizadas no Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Paraná (Campus Politécnico). Utilizou-se a Microscopia Eletrônico de Varredura TESCAN VEGAS3 LMU e Sistema de análise química tipo EDS (Oxford) com software AZ Tech (Advanced) com detetor tipo SDD de 80 mm² a 200 um.

A partir da análise obteve-se uma imagem em alta resolução e o mapeamento químico que está apresentado junto a imagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

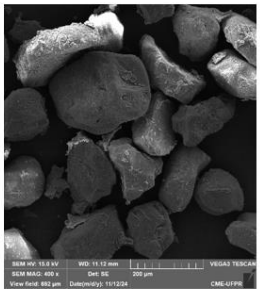
Como a matriz do solo é arenosa, espera-se que o horizonte E apresente baixa concentração dos elementos identificados (Figura 2), por ser de caráter Eluvial.

E



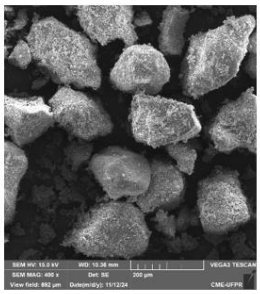
Espectro de Soma de Mapas	
	Peso %
Al	0,5
Ti	0,2

Bsm



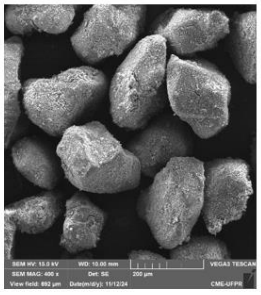
Espectro de Soma de Mapas	
	Peso %
Al	1,4
Ti	0,6
Fe	2,7

Bh



Espectro de Soma de Mapas	
	Peso %
Al	2,6
Ti	1,4
Fe	0,3

Bhsm



Espectro de Soma de Mapas	
	Peso %
Al	4,7
Ti	0,1
Fe	0,3

Figura 2. Resultados das análises de MEV-EDS.

Em compensação, observa-se que o Al possui maiores valores nos horizontes Bh (2,6%) E Bhsm (4,7%), que também apresenta acúmulo de C orgânico, vistos como revestimentos superficiais na amostra, assim como sua relação com o processo de cimentação do horizonte Bhsm (Pilar, 2021).

Já o Ti foi identificado em todos os horizontes, com maior concentração no Bh (1,4%) onde correlaciona-se a maior concentração de argila e MOS, o que torna esse dado de grande relevância visto que não é apontado nas análises químicas de rotina.

Este elemento químico (Ti) quando detectado em solos arenosos indica a influência da composição do material de origem e condições pedogenéticas como o transporte, sedimentação e o grau de intemperismo do material (Lima, 2021 e Souza *et al*., 2015).

Por fim, observa-se a presença de Fe em maior concentração no horizonte Bsm (2,7%) que segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS a cor amarelada deste horizonte reflete o acúmulo de sesquióxidos de Fe (EMBRAPA, 2018).

CONCLUSÕES

A análise por meio da técnica de MEV-EDS é uma importante ferramenta para estudo da gênese de Espodossolos, uma vez que fornece detalhadamente informações sobre as concentrações e disposições de elementos como Fe, Al, MOS e Ti, contribuindo significativamente na compreensão do processo pedológico deste solo e somando mais conhecimentos à literatura.

O Ti possui contribuição significativa a investigação dos processos de gênese e evolução dos solos, pois pode ser utilizado como indicador de estabilidade mineral, intemperismo e descontinuidade litológica em ambientes costeiros e tropicais. Uma vez que o material de origem do presente estudo é derivado de sedimentos marinhos a relação com o Ti associa-se ao transporte e origem destes sedimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Paraná (UFPR), a CAPES/CNPQ pelo apoio financeiro a pesquisa, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Laboratório de Pedologia - UFPR.

BIBLIOGRAFIA

BALTAR, C. A. M.; SAMPAIO, J.A.; ANDRADE, M. C.; PINTO, D. C. Minerais de Titânio. *In:* LUZ, A. B. & LINS, F. A. F. (2ª ed.). **Rochas e minerais industriais – uso e especificações.** CETEM, 2008. p. 841-863.

BRIZZI, R. R.; POROCARRERO, H.; SOUZA, A. P. D.; COSTA, A. J. S. T.; RANGEL, L. D. A. Avaliação macro e microestrutural de solos sob diferentes usos a partir de análises físicas, microscopia eletrônica e espectroscopia por energia dispersa. **Raega – O Espacço Geográfico em Análise**, v. 46, n.1, 2019.

DIAS, H. C. T.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; OLIVEIRA, A. P.; MICHEL, R. F. M.; LEMOS Jr, J. B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos do Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v27, n.3, p. 469-481, 2003.

LIMA, D. N. S. **Caracterização química de solos arenosos sob cultivo de cana-de-açucar nos tabuleiros costeiros.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2021.

PILAR, M. R. **Agentes cimentantes de horizonte espódico do Paraná**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA, Brasília, DF, 2018.

SANTOS, L. J. C.; BERRIER, J.; GRIMALDI, M.; de CASTRO, S. S. Utilização do microscópio eletrônico de varredura (MEV) para o reconhecimento de revestimentos argilosos. **Boletim Paranaense de Geociências**, 2003.

SOUZA, C. M. P.; COSTA, L. M.; MOREAU, A. M. S. S. Descontinuidade litológica em solos desenvolvidos em sedimentos Pós-Barreiras, Ilhéus-BA. *In:* **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo** – O solo e suas múltiplas funções, Natal-RN, 2015.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

AVALIAÇÃO DOS DOCENTES SOBRE A EXPOSIÇÃO DIDÁTICA DE SOLOS DO PROGRAMA SOLO NA ESCOLA/UFPR

Marcelo Ricardo de Lima[1*], Ana Beatriz Pereira da Silva[2], Brenda Aparecida Pereira Dias[2]; Shirley Grazieli da Silva Nascimento[3]

[1]Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná, E-mail: mrlima@ufpr.br; [2]Acadêmica do curso de Zootecnia da Universidade Federal do Paraná. Bolsista PIBEX/Fundação Araucária; [3]Professora da Universidade Federal do Pampa em cooperação técnica com o Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

RESUMO

A Exposição Didática de Solos, parte do programa "Solo na Escola/UFPR", tem como objetivo sensibilizar e educar sobre a importância do solo para a sustentabilidade ambiental. Estudos indicam que muitos alunos têm conhecimento limitado sobre o solo, e que muitos professores não utilizam estratégias pedagógicas adequadas para abordar o tema. A pesquisa, realizada com 174 professores que visitaram a exposição entre 2022 e 2024, revelou que 97,7% dos participantes consideraram que a visita atendeu suas expectativas didáticas. Além disso, 92,5% avaliaram positivamente as explicações dos monitores, que são alunos da UFPR. A maioria dos professores (96%) acredita que a visita contribuirá para uma abordagem mais qualificada do tema solo em suas escolas. A exposição é vista como um espaço eficaz para popularização científica, com grande potencial para ser indicada para outras instituições de ensino.

PALAVRAS-CHAVE: educação em solos; popularização científica; extensão universitária.

INTRODUÇÃO

A ciência do solo desempenha um papel crucial na compreensão dos processos naturais e na preservação dos recursos naturais do planeta, com impacto direto em questões como a produção rural, qualidade ambiental e sustentabilidade.

De acordo com Ferreira *et al*. (2021) o conhecimento dos discentes da educação básica sobre as temáticas que envolvem o solo ainda são bastante superficiais, acarretando prejuízos na formulação de um saber crítico reflexivo dos discentes, sobretudo no processo de sensibilização ambiental.

Além disso, conforme Santos e Nunes (2023), grande parte dos professores relatam que ainda não desenvolveram estratégias pedagógicas para abordar a temática solo, e muitos só abordam o tema caso este venha em destaque no livro didático.

A Exposição Didática de Solos, uma das atividades centrais do Programa de Extensão "Solo na Escola/UFPR", e visa proporcionar uma experiência interativa, permitindo que os alunos explorem de maneira prática os diferentes aspectos do solo e suas funções ecológicas.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é mostrar como a Exposição Didática de Solos, no âmbito do Programa "Solo na Escola/UFPR", influencia a percepção dos visitantes sobre a importância do solo e o papel da ciência do solo na sustentabilidade ambiental.

METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa para avaliar o impacto da Exposição Didática de Solos do Programa "Solo na Escola/UFPR", na percepção dos professores acompanhantes das turmas, que visitaram a exposição com seus alunos de educação básica e ensino superior.

As opiniões foram recolhidas, de modo anônimo, com professores das escolas, colégios e IES públicos e particulares, que acompanharam a visita à exposição durante os anos de 2022, 2023 e 2024. A amostra foi composta por 174 respondentes, principalmente de Curitiba e Região Metropolitana, no estado do Paraná.

A coleta de dados ocorreu por meio de questionários aplicados on-line, através da ferramenta Google Forms®, após a visita à Exposição Didática de Solos, sendo que a participação não era obrigatória, e somente responderam aqueles docentes que assim o desejaram.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a distribuição dos respondentes, em relação à natureza da instituição de ensino visitante da Exposição Didática de Solos. A maior parte dos visitantes corresponderam a instituições públicas, principalmente do ensino fundamental.

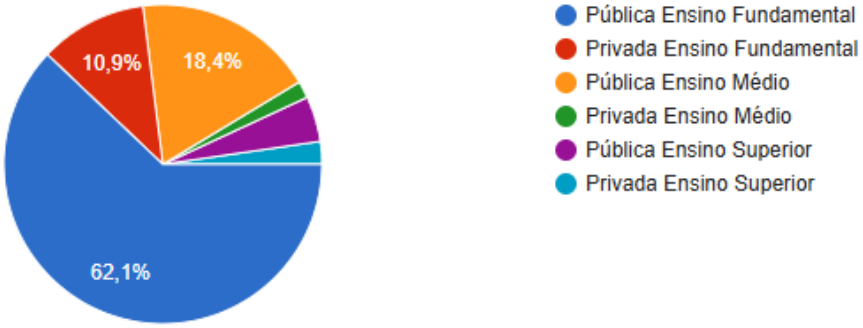


Figura 1. Natureza das instituições de ensino dos docentes que responderam ao questionário de avaliação da visita à Exposição Didática de Solos da UFPR nos anos de 2022, 2023 e 2024.

A Figura 2 apresenta a percepção dos professores em relação ao atendimento de suas expectativas didáticas, ao trazer seus alunos para a visita na Exposição Didática de Solos. De acordo com a Figura 2, 97,7% dos respondentes afirmaram que a visita atendeu suas expectativas. Este é um valor que pode ser considerado expressivo, ainda mais se for considerado que o mesmo espaço expositivo atendeu a alunos de diferentes níveis educacionais (ensino fundamental, ensino médio e ensino superior).

Na Figura 3 é apresentada a opinião dos docentes respondentes em relação às condições estruturais da Exposição Didática de Solos da UFPR. Ressalta-se que 83,9% consideraram as condições “ótimas” e 14,9% consideraram “boas”. De fato, a opinião dos respondentes deve se relacionar muito mais às condições dos experimentos, atividades e maquetes existentes, considerando que o espaço é, de fato, uma casa de vegetação improvisada para a atividade de espaço de popularização científica. Mas, apesar desta condição, ainda assim, atendeu a estrutura considerada ótima ou boa, na opinião dos professores.

As visitas na Exposição Didáticas de Solos da UFPR são, em sua grande maioria, conduzidas por monitores, que são alunos dos cursos de Agronomia, Engenharia Florestal, Geografia e Zootecnia da UFPR. Apenas uma pequena parcela das visitas é autoguiada, conduzida pelos próprios professores visitantes, com base em roteiro (Tavares; Lima, 2023). A Figura 4 avalia a percepção dos professores que responderam ao questionário, à abordagem dos temas (linguagem, profundidade) pelos monitores do Programa Solo na Escola, em relação ao público visitante.

Na Figura 4 se observa que 92,5% dos professores avaliaram que as explicações dos monitores foram ideais para o nível dos visitantes. Esta proporção elevada reflete a preocupação do Programa Solo na Escola/UFPR no treinamento dos alunos monitores, os quais, apesar de serem frequentemente substituídos, pela própria dinâmica dos alunos em buscarem outras oportunidades formativas, conseguem manter um grau de qualidade na apresentação a diferentes públicos.

Em geral, as visitas nas Exposição Didática de Solos da UFPR duram em torno de 90 a 100 minutos, considerando, que muitas instituições são distantes do campus Cabral da UFPR e tem um tempo de deslocamento considerável. Ainda assim, a maior parte dos professores respondentes (97,1%) consideram o tempo de visita adequado.

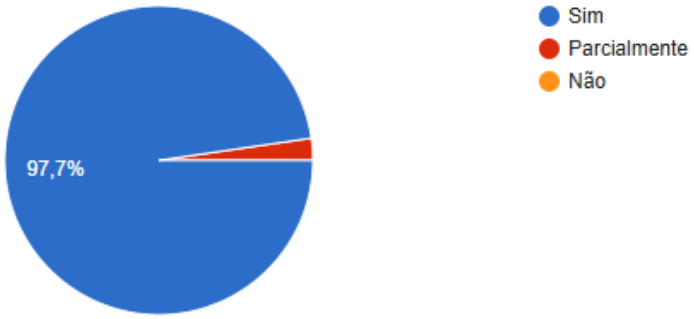


Figura 2. Atendimento da expectativa dos docentes que responderam ao questionário de avaliação da visita à Exposição Didática de Solos da UFPR nos anos de 2022, 2023 e 2024.

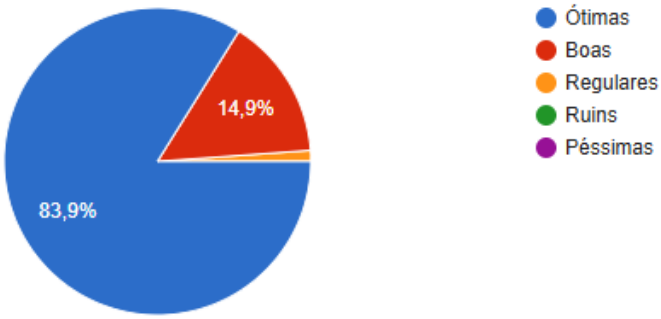


Figura 3. Percepção dos docentes que responderam ao questionário em relação às condições estruturais da Exposição Didática de Solos da UFPR nos anos de 2022, 2023 e 2024.

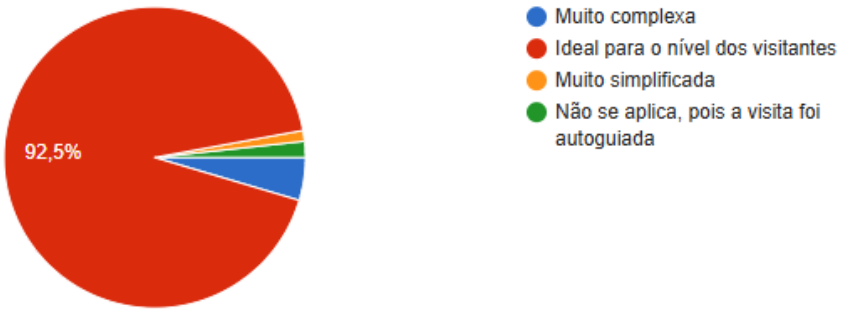


Figura 4. Percepção dos docentes que responderam ao questionário em relação às explicações dos monitores da Exposição Didática de Solos da UFPR, em relação ao público visitante, nos anos de 2022, 2023 e 2024.

Um aspecto muito importante é o impacto da visita, na Exposição Didática de Solos, nos processos educativos na instituição de ensino dos visitantes. A maior parte dos professores respondentes (96%) consideraram que a visita dará condições para abordar com maior qualidade o tema solos no seu espaço educacional (Figura 5).

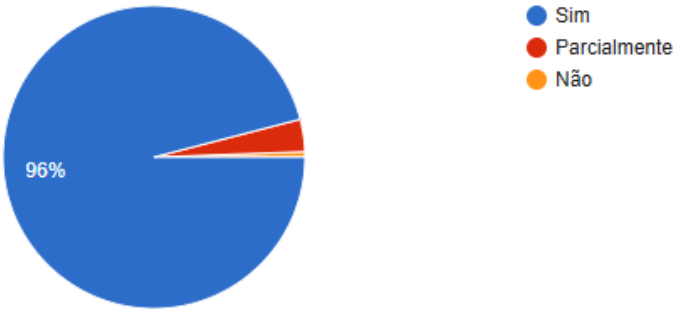


Figura 5. Percepção dos docentes que responderam ao questionário, em relação à contribuição da visita, na Exposição Didática de Solos da UFPR, na melhoria da abordagem do tema solos no seu espaço respectivo educacional, nos anos de 2022, 2023 e 2024.

Finalmente, ao serem questionados se iram indicar uma visita à Exposição Didática de Solos da UFPR para outras instituições de ensino, 100% dos professores respondentes afirmaram positivamente. Inclusive se observa que um dos principais fatores na ampliação do número de instituições atendidas por este espaço expositivo é justamente a divulgação pelos próprios professores que já trouxeram seus alunos.

CONCLUSÕES

Para a maioria dos professores respondentes, a Exposição Didática de Solos se configura em um espaço adequado para popularização científica da ciência do solo, em termos de estrutura, atendimento dos monitores e tempo da visita, bem como contribui para melhorar a abordagem do tema em suas instituições de ensino.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pelas bolsas PIBEX das estudantes de graduação e à UFPR pelo apoio financeiro através do Edital 02/2024-PROEC.

BIBLIOGRAFIA

FERREIRA, V. G. S.; FARIAS FILHO, M. S.; RODRIGUES, W. S.; GARCÊS JUNIOR, A. R. Conhecimento em solo como abordagem da educação ambiental na rede de ensino básico em São Luís – MA. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 23, p. 27-37, 2021.

SANTOS, A. F. L.; NUNES, J. O. R. Formação de professores de geografia para o ensino em solos na educação básica: desafios e possibilidades na perspectiva dos docentes. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 1, n. 110, p. 257-281, 2023

TAVARES, S. R.; LIMA, M. R. **Exposição Didática de Solos**: roteiro da visita autoguiada. 1. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2023. 38 p.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

PERCEPÇÕES E CONHECIMENTOS SOBRE O SOLO: UMA ANÁLISE DE ACADÊMICOS DE PEDAGOGIA ANTES E APÓS A INTERVENÇÃO DO PROJETO 'O SOLO NA ESCOLA'

Gustavo Strapassoni[1*], Ketlyn Luiza Dickel Cseh[1], Guilherme Strapassoni de Souza[2], Mateus Marchesan Pires[3], Vanda Moreira Martins[4]

[1]Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Unioeste, campus de Marechal Cândido Rondon; [2]Estudante de Graduação do curso de Licenciatura em História da Unioeste, campus de Marechal Cândido Rondon; [3]Professor do curso de Licenciatura em Geografia da Unioeste, campus de Marechal Cândido Rondon; [4]Professora do curso de Licenciatura em Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Unioeste, campus de Marechal Cândido Rondon. *E-mail: gstrapassoni816@gmail.com.

RESUMO

Este estudo investigou o impacto da intervenção do projeto "O Solo na Escola" na percepção de acadêmicos do 4º ano de Pedagogia sobre o solo. A pesquisa foi realizada com sete participantes de uma turma específica, utilizando uma abordagem qualitativa. Os dados foram coletados em dois momentos: antes e após a intervenção, que consistiu em uma Oficina Didática com atividades teóricas e práticas sobre formação, características e importância do solo. As respostas dos acadêmicos foram analisadas com base na evolução conceitual, identificando-se uma melhoria na compreensão do tema. Após a intervenção, a maioria dos participantes passou a incluir os cinco fatores de formação do solo em suas definições, demonstrando maior profundidade e precisão. Entretanto, algumas respostas ainda apresentaram superficialidade, sugerindo a necessidade de reforço em futuras intervenções. Conclui-se que o projeto foi eficaz em ampliar o conhecimento dos acadêmicos, destacando a importância de iniciativas educacionais para a formação de professores.

PALAVRAS-CHAVE: formação de professores; ciência do solo; educação em solos; práticas pedagógicas.

INTRODUÇÃO

Trabalhar o tema ‘solo’ com futuros professores, especialmente na formação de pedagogos, é de extrema relevância, uma vez que esses profissionais serão responsáveis por ensinar os conhecimentos científicos e ambientais para as próximas gerações. O solo, como componente essencial do meio ambiente, está diretamente relacionado a questões como sustentabilidade, segurança alimentar e conservação dos recursos naturais. No entanto, é comum que o tema seja abordado de forma superficial ou até mesmo negligenciado nos currículos escolares, o que pode resultar em uma lacuna de conhecimento (Lima, 2005; Becker, 2005; Sacramento; Falconi, 2011; Cirino *et al*., 2015; Lima, Andrade e Fortuna, 2016;).

A inclusão do estudo do solo na formação docente visa não apenas ampliar o repertório científico dos educadores, mas também capacitá-los para abordar o tema de maneira interdisciplinar e contextualizada em suas práticas pedagógicas. Isso é fundamental, especialmente, para os professores que atuam nos anos iniciais da Educação Básica, fase em que os estudantes começam a construir suas primeiras noções sobre o mundo. Portanto, ao dominar conceitos sobre o solo e sua importância, os professores podem despertar a curiosidade e o interesse das crianças por temas ambientais, contribuindo para a formação de cidadãos mais conscientes e responsáveis (Valente, 2005; Muggler; Pinto-Sobrinho; Machado,2006).

Diante disso, a hipótese deste estudo é que a intervenção do projeto "O Solo na Escola" pode promover uma mudança na percepção do solo entre os acadêmicos de Pedagogia, contribuindo para sua formação como educadores. O objetivo do estudo, então, é analisar a mudança na percepção entre acadêmicos do 4º ano de Pedagogia após a intervenção do projeto "O Solo na Escola". Os dados foram coletados em dois momentos distintos: antes da realização das atividades do projeto e após sua conclusão. A análise comparativa desses dados permitiu avaliar o impacto da intervenção no entendimento dos acadêmicos sobre o solo, bem como identificar possíveis avanços e lacunas em sua compreensão. Com isso, busca-se

demonstrar a eficácia de iniciativas educacionais como o projeto "O Solo na Escola" na formação de professores.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no campus de Marechal Cândido Rondon-PR, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), e contou com a participação de sete acadêmicos do 4º ano do curso de Pedagogia de uma faculdade particular do município. A escolha desse público se justifica por serem futuros professores da Educação Básica. A pesquisa foi conduzida em dois momentos. No primeiro, sem receber qualquer orientação prévia, os acadêmicos foram convidados a responder à pergunta "O que é solo?". As respostas foram registradas para análise posterior. No segundo momento, após a intervenção, os participantes responderam novamente à mesma questão, o que permitiu a comparação entre as definições iniciais e as finais.

A intervenção consistiu na realização de uma Oficina Didática pela equipe do projeto "O Solo na Escola", que abordou temas como a formação do solo, os cinco fatores de formação (material de origem, organismos, tempo, clima e relevo), a fauna do solo, as características morfológicas do solo (cor, textura e granulometria), pôr fim a importância do solo para a vida e a necessidade de sua conservação. Nesses momentos foram realizadas atividades como, observação e tato de diferentes tipos de rochas, minerais e solos, atividade de pintura com a tinta do solo, experimentos práticos como o teste de atração magnética, teste de densidade, teste de infiltração, teste de erosão e discussões em grupo.

A análise dos dados foi conduzida de forma qualitativa, com o objetivo de identificar mudanças conceituais nas respostas dos acadêmicos antes e depois da intervenção. As definições foram categorizadas com base em critérios como superficialidade ou completude, presença de elementos científicos e evolução na profundidade e precisão das explicações. A comparação entre os dois momentos permitiu avaliar o impacto das atividades do projeto na compreensão dos participantes sobre o solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os dados coletados antes e após a intervenção, com o objetivo de demonstrar as respostas dos acadêmicos em relação aos conceitos sobre o solo. O Quadro 1 resume as definições fornecidas pelos participantes, comparando suas percepções iniciais com as respostas obtidas após a intervenção.

Antes da intervenção, as respostas dos acadêmicos refletiam uma compreensão básica e, em alguns casos, superficial sobre o conceito de solo. As definições variavam desde descrições simples, como "local onde pisamos" (Acadêmico 6) e "aquilo que a gente pisa" (Acadêmico 7), até tentativas de incluir elementos mais complexos, como "diferentes tipos de matérias vivas, minerais, rochas etc." (Acadêmico 1). No entanto, algumas respostas apresentavam conceitos equivocados, como "uma forma de energia que também produz alimentos" (Acadêmico 2), indicando uma falta de clareza sobre o tema.

Após a intervenção, observou-se uma evolução nas respostas. A maioria dos acadêmicos passou a incluir os cinco fatores de formação do solo (material de origem, organismos, tempo, clima e relevo) em suas definições, demonstrando uma compreensão mais científica e estruturada do conceito. Por exemplo:

- O Acadêmico 1, passou a destacar: "Solo é composto por vários fragmentos rochosos que com o passar dos anos vai se transformando em solo, possuindo cinco fatores que modificam ele..."
- O Acadêmico 2, que inicialmente associou o solo a "uma forma de energia", reformulou sua resposta para: "O Solo é um processo que leva muito tempo, e tem cinco diferentes fatos, que são eles: material de origem, os organismos, tempo, clima e relevo."

- O Acadêmico 7, que antes definiu o solo como "aquilo que a gente pisa", passou a mencionar: "No solo possui cinco fatores muito importantes que modificam ele, como: a terra mãe (se referindo a rocha mãe); organismos; tempo; temperatura; relevos."

Quadro 1. Atributos do solo do experimento.

Acadêmico	Antes da Intervenção	Depois da Intervenção
1	*"Solo: local onde pisamos em meio a natureza e cidade local que possui diferentes tipos de matérias vivas, minerais, rochas etc. É possível encontrar diferentes tipos de solo, rochoso, arenoso etc."*	*"Solo é composto por vários fragmentos rochosos que com o passar dos anos vai se transformando em solo, possuindo cinco fatores que modificam ele: temperatura e chuva, relevos, organismos da fauna e flora, terra mãe e tempo. O solo é fundamental na História do planeta, se modificando e transformando ao longo dos anos"*
2	*"É uma forma de energia que também produz alimentos".*	*"O Solo é um processo que leva muito tempo, e tem cinco diferentes fatos, que são eles: material de origem, os organismos, tempo, clima e relevo"*
3	*"Solo é a parte de terra na qual encontra a superfície terrestre e sei lá mais o que..."*	*"Solo é tudo no qual a gente convive, sendo os cinco elementos: rocha mãe; clima/tempo; os elementos..."*
4	*"Solo é tudo onde podemos plantar os alimentos, onde vivemos e podemos pisar. Existem vários tipos de solos: argiloso, arenoso, e de terra"*	*"O Solo tem 5 fatores sendo eles: a terra mãe; organismos; tempo; temperatura; relevos"*
5	*"É uma matéria onde pode-se desenvolver, cultivar, plantar, alimentos, existem diversos tipos de solo"*	*"O solo é formado por cinco diferentes fatores, são eles: terra mãe, temperatura, organismos, relevo e o tempo. O Solo também é originado através das rochas"*
6	*"Aquilo onde pisamos ou podemos pisar, chão"*	*"O Solo consiste em firmeza, é constituído por cinco fatores: organismo, temperatura, terra mãe, tempo e os relevos"*
7	*"Solo é aquilo que a gente pisa, como por exemplo: terra, areia etc."*	*"No solo possui cinco fatores muito importantes que modificam ele, como: a terra mãe; organismos; tempo; temperatura; relevos"*

As respostas pós-intervenção evidenciaram uma maior profundidade e precisão no entendimento dos acadêmicos. Além de mencionar os cinco fatores de formação do solo, muitos estudantes passaram a relacionar o solo a processos dinâmicos e à sua importância ecológica. Por exemplo:

- O Acadêmico 1 destacou a transformação do solo ao longo do tempo: "O solo é fundamental na História do planeta, se modificando e transformando ao longo dos anos."
- O Acadêmico 5 incorporou a origem do solo a partir das rochas: "O Solo também é originado através das rochas."

Nota-se que, após a intervenção, houve uma consistência nas respostas, com a maioria dos acadêmicos mencionando os cinco fatores de formação do solo. Isso sugere que as atividades práticas e teóricas da Oficina Didática foram eficazes em transmitir conhecimentos científicos e consolidar conceitos fundamentais. Embora a maioria dos estudantes tenha apresentado uma evolução significativa, algumas respostas ainda mantiveram certa superficialidade. Por exemplo, o Acadêmico 3 mencionou: "Solo é tudo no qual a gente convive, sendo os cinco elementos: rocha mãe; clima/tempo; os elementos...", indicando uma compreensão parcial dos conceitos abordados.

Por fim, é importante destacar algumas limitações que podem ter influenciado os resultados obtidos. Primeiro, o estudo foi realizado com uma amostra de sete acadêmicos, o que limitou a generalização dos resultados. A população-amostra foi definida em função de uma turma específica de Pedagogia, cujo professor marcou o atendimento para a realização das atividades. Futuramente, pretendemos ampliar a pesquisa, atendendo mais acadêmicos de Pedagogia e expandindo o escopo do estudo. Além disso, o estudo focou em uma única intervenção, com atividades concentradas em um período específico. A curta duração da intervenção pode ter limitado a internalização completa de alguns conceitos, como evidenciado pelas respostas ainda superficiais de alguns acadêmicos após a intervenção.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que a intervenção do projeto "O Solo na Escola" foi eficaz em ampliar e aprofundar o conhecimento dos acadêmicos sobre o solo. A inclusão dos cinco fatores de formação do solo nas respostas pós-intervenção indica que os estudantes internalizaram conceitos científicos importantes, refletindo uma evolução conceitual significativa. No entanto, a presença de algumas respostas ainda superficiais sugere que, em futuras intervenções, pode ser necessário reforçar a abordagem de certos conceitos para garantir uma compreensão mais completa e uniforme.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Superintendência Geral de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI) – Governo do Estado do Paraná, a UEF – Unidade Estado do Fundo Paraná – Universidade sem Fronteiras (TED 172/2024); à Fundação Araucária, à PRPPG e à PROEX/UNIOESTE pelo apoio financeiro, na forma de bolsas PIC-PIBIC/AF; PIBEX e PIBIS, que permitiram o desenvolvimento de atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão dos graduandos, pós-graduandos e professores do curso de Licenciatura em Geografia.

BIBLIOGRAFIA

BECKER, E. L. S. Solo e Ensino. **Vidya.** Santa Maria, n.2, v. 25, p. 73-80, 2005.

CIRINO, F. O.; MUGGLER, C. C.; CARDOSO, I. M. Sistematização participativa de cursos de capacitação em solos para professores da educação básica. **Terrae Didatica**, Campinas, SP, v. 11, n. 1, p. 21–32, 2015. DOI: 10.20396/td.v11i1.8637307.

CSEH, K. L. D. **Diagnóstico sobre o projeto de extensão "O Solo na Escola" na Unioeste – PR perspectivas da Educação em Solos**. 2024. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Licenciatura em Geografia, Centro de Ciências Humanas, Educação e Letras, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon – PR, 2024.

LIMA, A.; ANDRADE, J.; FORTUNA, M. A importância do ensino do solo nas escolas. **Revista de Educação Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 5-15, 2016.

LIMA, M. R. O solo no ensino de ciências no nível fundamental. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 3, p. 383-395, 2005.

MUGGLER, C. C.; PINTO SOBRINHO, F. A.; MACHADO, V. A. Educação em solos: princípios, teoria e métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p. 733-740, 2006.

VALENTE, M. E. A. O Museu de Ciência: espaço da história da ciência. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 11, n. 1, p. 53-62, 2005. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-73132005000100005.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

GUARDIÕES DA RIZOSFERA INTEGRANDO SOLO, SOCIEDADE E ALIMENTO

Luciana do Prado Silva*, Sandy Laira Pivetta, Amanda Rodrigues de Medeiros, Marco Antonio Bacellar Barreiros, Luciana Grange

[1]Estudantes de graduação da Universidade Federal do Paraná; [2]Professores da Universidade Federal do Paraná, Palotina, PR, * luciana.prado@ufpr.br

RESUMO

A conservação do solo é um tema de extrema relevância no cenário socioambiental atual. Dentre as diversas estratégias eficientes para preservar este "sistema vivo", se inclui a popularização da importância do solo na produção agrícola e na segurança alimentar. O presente trabalho, de caráter ativo e qualitativo, objetivou investigar a interação, individual e coletiva, de estudantes de ensino médio com microrganismos do solo sob a perspectiva da educação ambiental e da pedagogia da atenção. Esta ação extensionista foi planejada seguindo: Orientações teórico-prática, Alinhamento de agendas e reuniões estratégicas, Definição da técnica microbiológica, Organização dos materiais biológicos, das demais ferramentas de uso, do transporte e da equipe de apoio. A proposta foi executada no Instituto Federal do Paraná-IFPR, Campus Assis Chateaubriand com o 2º ano Técnico em Agropecuária dentro de um roteiro: 1. Apresentação dos fundamentos da microbiologia; 2 Execução da técnica de diluição seriada para a obtenção da unidade formadora de colônia (UFC) a partir de solos agrícolas e naturais; 3. Execução de técnicas de repicagem e isolamento *in vitro* de rizobactérias; 4. Contagem de UFC e caracterização morfológica das colônias obtidas por material previamente preparado; 5. Interpretação de resultados seguindo artigos científicos. A atividade foi executada com o uso do site "Mentimenter" e da plataforma GOOGLE FORMS, gerando resultados como, por exemplo: 100% dos alunos participantes consideraram a oficina útil para sua formação; 67% responderam que a execução da técnica foi o que trouxe mais interação com os microrganismos, enquanto os outros 33%, preferiram o momento de análise e interpretação dos resultados; após a execução da oficina, 84% dos alunos responderam ter compreendido melhor o universo da vida rizosférica e 100% ainda reforçam a necessidade de novas oficinas e ações voltada para a popularização da biologia do solo e para o entendimento dos serviços ecossistêmicos prestados gratuitamente por estes chamados de "operários da fertilidade".

PALAVRAS-CHAVE: agricultura; educação ambiental; extensão; microrganismos.

INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2023), a Educação Ambiental (EA) é apontada como uma solução para mitigar os impactos negativos no solo, promovendo a sensibilização, a mudanças de hábitos e a geração de novos agentes transformadores do conhecimento. A educação busca estimular a participação individual e coletiva na preservação, garantindo a democratização ambiental e a permanência no processo educativo. Conforme Nunes e Lehn (2022), "a educação é o ponto de partida para transformar as pessoas e a partir disso sensibilizar os sujeitos e como consequência promover uma mudança em suas formas de ver e interagir com o meio ambiente".

Uma das ferramentas em busca de estabelecer novos comportamentos sociais, é a construção da Interação Dialógica, por onde é possível proporcionar o compartilhamento de conhecimentos e experiências, entre comunidade universitária e membros da comunidade local e regional, a partir de uma relação horizontal, com apoio de metodologias participativas e democráticas, para superar a desigualdade do conhecimento (RIBEIRO, 2019).

Na grande área da ciência do solo, não seria diferente, portanto, é fundamental a criação de oportunidades de aprendizado, através de ações que transcendam os muros da universidade levando, de forma prática, para escolas e espaços comunitários, temas que abordem que o solo deve ser considerado

"um corpo vivo" e, que são em sua maioria, os microrganismos, como bactérias e fungos, os grandes responsáveis pela ciclagem de nutrientes, pelo equilíbrio metabólico da rizosfera, pela proteção e resiliência dos sistemas, naturais e produtivo e, pela continuidade da fertilidade dos solos pelo mundo (FREITAS, 2023; MATIAS; OLIVEIRA; FONTINELE, 2019).

Propostas de popularização da ciência, realizadas por meio de oficinas pedagógicas práticas, que buscam proporcionar a aproximação e o contato com esses "diminutos seres vivos", são atividades dinâmicas que envolvem os participantes em aprendizado, alunos ou não, na construção de conhecimentos por meio de experiências concretas (ABREU; MARQUES; BITTENCOURT, 2022). Segundo Pavani e Fontana (2009), os principais objetivos, ao se realizar oficinas pedagógicas envolvendo procedimento técnicos práticos é estimular o pensamento crítico, a criatividade e a resolução de problemas; desenvolver habilidades específicas relacionadas à área abordada; promover a interação entre os alunos; estabelecer conexões entre a teoria e a prática e incentivar a curiosidade, a investigação e a descoberta.

Deste modo, a presente pesquisa de caráter ativo e qualitativo, objetivou investigar a interação, individual e coletiva, de estudantes de ensino médio com microrganismos do solo sob a perspectiva da educação ambiental e da pedagogia da atenção, voltada para a importância da biologia do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi planejado e executado pelos membros ativos do grupo de estudo e pesquisa FIXTEC, da Universidade Federal do Paraná Setor Palotina. Os conteúdos teóricos e práticos foram definidos a partir de reuniões programadas pela pesquisadora, professora, orientadora e responsável pela linha de pesquisa na grande área da biologia agrícola e ambiental de solo. Também em equipe, a prática escolhida para ser executada foi a técnica da diluição seriada para obtenção da unidade formadora de colônia (UFC) a partir de meios de cultivo para obtenção de bactérias do solo.

O meio de cultivo Digys foi defino para a obtenção dos materiais biológicos seguindo (DÖBEREINE et al., 1999). Uma parte do meio preparado foi vertido em Placas de petri a serem utilizadas na escola e, a outra parte, foi utilizada para o isolamento de rizobactérias – procedimento realizado em fluxo laminar e crescidas em condições controle sob o uso de BOD a 27ºC. Após 72 horas e previamente identificadas e separadas de condições contaminantes, para estudo a serem identificadas pelos alunos participantes.

A diluição seriada foi realizada a partir uma amostra de solo que foi coletada do campo, de condições distintas, naturais e agrícolas, que foi devidamente peneirada e acondicionada em condições adequadas e frescas no laboratório. Seguindo Andrade e Hamakawa (1994), 10 gramas de cada tipo de solos foi submetido ao processo de extração superficial e mecânica. Após, a diluição de trabalho escolhida para os plaqueamentos foi a 10^{-3} e a técnica de isolamento ou espalhamento ou semeadura em superfície para contagem.

Para alinhar as últimas estratégicas de ação da oficina, a equipe se reúne para definir o questionário que foi disponível durante toda a oficina, a saber: 1. A oficina foi útil para você? 2. Numa escala de 0 a 10, qual você classificaria o seu nível de interação com microrganismos? 3. Qual parte da oficina proporcionou para você melhor interação com os microrganismos? 4. Você acha que deveríamos continuar com as oficinas trazendo novos temas sobre a microbiologia do solo? 5. Numa escala de nível de 0 a 10, qual foi o seu nível de compressão sobre microrganismos de solos após a realização da oficina?

A organização dos conteúdos teóricos foi realizada utilizando o programa MENTIMETER, para dinamizar a apresentação dos conteúdos e para a geração de dados qualitativos foi usado o GOOGLE FORMS, uma plataforma online, gratuita e sigilosa, que permite criar apresentações interativas. Para isso, antes da execução da oficina, foi solicitada o consentimento dos participantes seguindo modelo TCLE do governo federal, aplicado de forma *on line*.

A proposta foi executada no Instituto Federal do Paraná-IFPR, Campus Assis Chateaubriand com o 2º ano Técnico em agropecuária dentro de um roteiro: 1. apresentação dos fundamentos da microbiologia; 2. Execução da técnica de diluição seriada para a obtenção da unidade formadora de colônia (UFC); 3. Execução de técnicas de repicagem e isolamento in vitro de rizobacterias; 4. Contagem de UFC e caracterização morfológica das colônias obtidas por material previamente preparado; 5. Interpretação dos dados, estudos de casos e avaliação, em roda de conversa, considerando manifestos verbais espontâneos, de forma individual e coletiva. Posterior à ação, os dados foram subtraídos da plataforma GOOGLE FORMS e organizados em gráficos de pizza a serem apresentados como parte dos resultados de avaliação de eficiência da ação em alcançar seu objeto e meta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram obtidos e interpretados com base nos ensinamentos proposto por Valladares (2007), que aponta sobre a importância da interação técnica e pessoal do pesquisador-pesquisado, do participante conseguir ouvir e fazer uso de todos os sentidos durante a atividade, do espaço ter condições mínimas para realização da prática pedagógica e da escolha adequada das ferramentas de avaliação.

Conforme segue pela Figura 1, os materiais foram devidamente preparados em laboratório dentro de fluxo laminar respeitando as regras de assepsia e de boas práticas em microbiologia. A mesma técnica foi replicada com os alunos participantes, para que eles obtivessem seus próprios resultados, que foram posteriormente enviados para compararem com os materiais que foram apresentados pela equipe da UFPR.

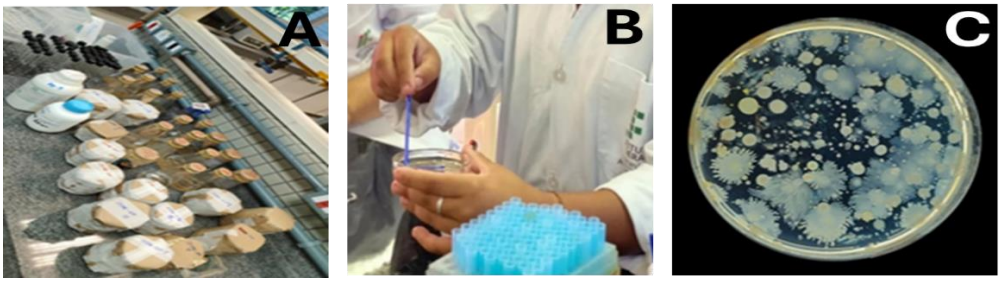


Figura 1. A) Materiais sendo preparados pelos discentes no LabSol UFPR; B) Demonstrativo do método de isolamento *spred plate*; C) Visualização dos resultados realizados pelos participantes. Fonte: A autora (2024).

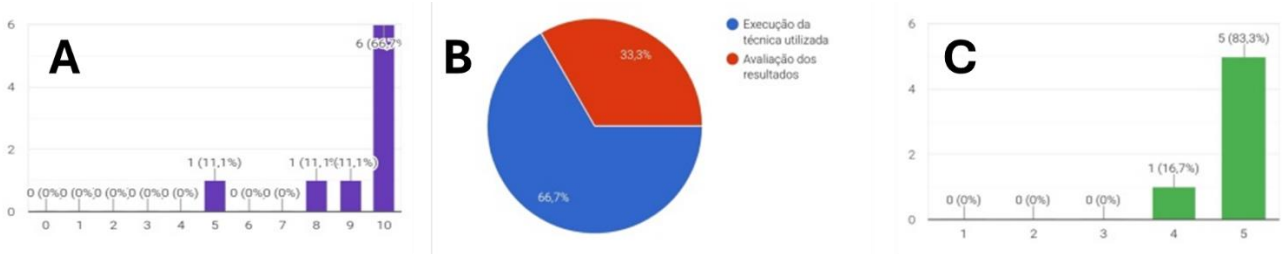


Figura 2. Resultados obtidos a partir do questionário aplicado por meio da plataforma GOOGLE FORMS. A. Como você classificaria o seu nível de interação com microrganismos? B. Qual parte da oficina proporcionou para você melhor interação com os microrganismos? C. Qual foi o seu nível de compressão sobre microrganismos de solos após a realização da oficina? Fonte: A autora (2024).

Os resultados (FIGURA 2) obtidos a partir do questionário aplicado, revelaram que 100% dos participantes consideraram a oficina útil para sua aprendizagem no tema, 67% responderam que a execução da técnica foi o que trouxe mais interação com os microrganismos, enquanto os outros 33%, preferiram o

momento de análise e interpretação dos resultados. Após a execução da oficina, 84% dos alunos responderam ter compreendido melhor o universo da vida rizosférica, enquanto 26% dos alunos ainda reforçam a necessidade de novas oficinas e ações voltada para a popularização da biologia do solo e para o entendimento dos serviços ecossistêmicos prestados por estes chamados de “operários da fertilidade”.

CONCLUSÃO

Os principais objetivos desta oficina pedagógica foram alcançado, pois, conseguiu proporcionar uma experiência prática de aprendizagem, envolvendo os alunos de maneira ativa; ampliar o conhecimento e a habilidade dos agentes discentes executores da oficina; promover a interação entre os alunos, permitindo a troca de conhecimentos; estabelecer conexões entre os conceitos aprendidos na teoria e sua aplicação prática e, por fim, conseguiu incentivar a curiosidade, a investigação e a vontade de aprender mais.

BIBLIOGRAFIA

ABREU, R. R.; MARQUES, M. BITTENCOURT, A. H. C. Concepções dos alunos do ensino médio sobre microbiologia por meio de elaborações e aplicação de recursos didáticos. **Revista REAMEC – Rede Amazônica de Educação em Ciências Matemática**, v. 10, n. 1, p. 1-27, 2022.

ANDRADE, D. S.; HAMAKAWA, P. J. **Manual de Métodos Empregados em Estudos de Microbiologia Agrícola: Estimativa do Número de Células Viáveis de Rizóbio no Solo e em Inoculantes por Infecção em Plantas**. Embrapa Distrito Federal. p. 65-66, 1994.

DÖBEREINER, J.; ANDRADE, V. O.; BALDANI, V. L. D**. Protocolos para Preparo de Meios de Cultura da Embrapa Agrobiologia**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 1999. 38p. (Embrapa- CNPAB. Documentos, 110).

FREITAS, D. A. Ensino de solos nas escolas: conscientização da importância desse recurso natural. **Studies in Environmental and Animal Sciences**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 57-64, 2023.

MATIAS, L. N.; OLIVEIRA, E. B.; FONTINELE, D. C. S. S. **Despertando olhares a microbiologia do solo: o ensino lúdico como facilitador na aprendizagem**. p. 1-9, 2019.

NUNES, M. M; LEHN, C. R. Educação ambiental e preservação da biodiversidade: relato de um estudo de caso em distintas realidades escolares. **Revista Brasileira De Educação Ambiental (Revbea)**, v. 17, n. 6, p. 498-511, 2022.

RIBEIRO, T. G. A. **Interação Dialógica nas ações de Extensão Universitária na Temática Meio Ambiente**. 2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedade) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

SILVA, M. B. D. C.; CRISTO, J. P.; PEREIRA, J. A.; BORGES, C. R.; SELL, L. G.; NASCIMENTO, V.; JAHRIG. A. P.; BECEGATO, V. A. Sustentabilidade e Preservação do Solo em Instituições de Ensino Brasileiras (2015-2021): Uma Avaliação Necessária. **Revista Foco**, v. 16, n. 11, p. 01-12, 2023.

Pavani, N. M. S.; Fontana, N. M. (2009). Oficinas pedagógicas: relato de uma experiência. **Conjectura**, Caxias do Sul, 14(2) 77-88.

VALLADARES, L. Os dez mandamentos da observação participante. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 22, p. 153-155, 2007.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INFRAESTRUTURA E POLÍTICAS DE GESTÃO DE DADOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DO PARANÁ: CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA

Pedro Barth[1*],Ana Vitória Assis Dalzotto de Oliveira[2], Vitor Peruzzi de Almeida[3], Débora Liriel Kerber Kempner[4], Taciara Zborowski Horst[5], Alessandro Samuel-Rosa[6]

[1, 2,3, 4] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [5, 6] Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

A gestão de dados de pesquisa é essencial para a transparência e reprodutibilidade científica. No Paraná, as Instituições de Ensino Superior (IES) adotam diferentes abordagens para a gestão e compartilhamento dessas informações. Este estudo classifica as IES conforme sua infraestrutura e políticas institucionais de gestão de dados, analisando documentos institucionais e normativas. As instituições foram classificadas em cinco níveis: (0) ausência de repositório e políticas; (1) repositório institucional para publicações; (2) políticas institucionais formais sobre gestão de dados; (3) planos de gestão e/ou abertura de dados; (4) repositório de dados de pesquisa funcional. Os resultados indicam que universidades federais possuem sistemas mais estruturados, enquanto as estaduais apresentam variações. A falta de diretrizes unificadas representa um desafio para a transparência e reprodutibilidade da pesquisa científica.

PALAVRAS-CHAVE: gestão de dados; repositórios institucionais; universidades do Paraná; políticas institucionais.

INTRODUÇÃO

A produção de conhecimento científico tem crescido exponencialmente, exigindo que pesquisadores e instituições acadêmicas organizem e armazenem adequadamente os dados gerados (GUANDALINI; FURNIVAL; ARAKAKI, 2024). A ciência aberta reforça a necessidade de repositórios de dados de pesquisa e políticas de gestão de dados para garantir transparência, acessibilidade e reprodutibilidade (NEIS *et al*., 2010). No Brasil, esse tema tem ganhado relevância, mas ainda enfrenta desafios quanto à implementação de diretrizes institucionais e infraestrutura adequada (SANTOS *et al*., 2015).

Apesar da importância dos dados científicos, muitas Instituições de Ensino Superior (IES) ainda não possuem políticas claras ou repositórios específicos para a gestão dessas informações (TEIXEIRA, 2005). Essa lacuna compromete a preservação dos dados e dificulta sua reutilização em novas pesquisas. No Paraná, a situação das IES em relação à gestão de dados ainda é pouco conhecida, tornando-se essencial um diagnóstico detalhado para compreender o grau de implementação dessas práticas.

Este estudo tem como objetivo mapear e classificar as IES do Paraná conforme suas práticas de gestão de dados de pesquisa, analisando a existência de repositórios institucionais de dados, diretrizes formais e planos específicos para a organização e compartilhamento dessas informações.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida por meio de análise documental das normativas institucionais de 12 IES do Paraná, com foco na existência de políticas institucionais de gestão de dados e na infraestrutura de repositórios para armazenamento e compartilhamento dessas informações. As instituições analisadas foram: UTFPR, UFPR, IFPR, UNICENTRO, UEM, UNIOESTE, UEL, UENP, UNESPAR, UEPG, UNILA e FAFIMAN. A seleção dessas instituições ocorreu devido à sua participação na Chamada da Itaipu Parquetec, garantindo uma análise representativa de diferentes tipos de instituições no estado.

A análise qualitativa identificou a presença e o grau de implementação dessas políticas e infraestruturas. Os dados foram categorizados de forma descritiva, permitindo a classificação das IES em cinco níveis conforme os critérios estabelecidos.

- **Nível 0:** Instituições sem repositório institucional nem políticas formais sobre gestão de dados.
- **Nível 1:** Presença de repositório institucional para publicações científicas (dissertações, teses, monografias).
- **Nível 2:** Existência de políticas institucionais formais sobre gestão de dados, incluindo diretrizes sobre propriedade intelectual e compartilhamento de informações.
- **Nível 3:** Desenvolvimento de Plano de Gestão de Dados de Pesquisa e/ou Plano de Abertura de Dados.
- **Nível 4:** Existência de repositório de dados de pesquisa funcional e operacional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das 12 Instituições de Ensino Superior do Paraná revelou diversidade nos níveis de gestão de dados de pesquisa. As instituições federais apresentaram sistemas mais robustos, com um maior nível de implementação de políticas de dados e repositórios. Por outro lado, as instituições estaduais apresentaram uma variação considerável nos seus níveis de organização e implementação.

Tabela 1. Classificação das Instituições de Ensino Superior do Paraná por Níveis de Aderência às Boas Práticas de Gestão de Dados de Pesquisa

Instituição de ensino	Nível de Gestão de Dados	URL dos repositórios de dados de pesquisa	URL dos Repositórios institucionais de documentos
UFPR	Nível 3	Não possui repositório	https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/
UTFPR	Nível 3	Não possui repositório	repositorio.utfpr.edu.br
UEL	Nível 3	Não possui repositório	repositorio.uel.br
UEM	Nível 3	Não possui repositório	http://repositorio.uem.br:8080/jspui/
UNIOESTE	Nível 3	Não possui repositório	https://tede.unioeste.br
UNICENTRO	Nível 2	Não possui repositório	repositorio.unicentro.br
UNILA	Nível 2	Não possui repositório	https://dspace.unila.edu.br/home
UNESPAR	Nível 1	Não possui repositório	repositorio.unespar.edu.br
UEPG	Nível 1	Não possui repositório	http://ri.uepg.br:8080/riuepg
UENP	Nível 1	Não possui repositório	repositorio.uenp.br
IFPR	Nível 0	Não possui repositório	Não possui repositório
FAFIMAN	Nível 0	Não possui repositório	Não possui repositório

A análise das Instituições de Ensino Superior do Paraná revelou que as instituições classificadas no Nível 3 (UFPR, UTFPR, UEL, UEM e UNIOESTE) demonstram avanços na gestão de dados de pesquisa, uma vez que estão desenvolvendo planos de gestão e/ou planos de abertura de dados. No entanto, ainda não possuem repositórios exclusivos para dados de pesquisa, o que indica que a implementação dessas práticas ainda está em fase inicial.

Por outro lado, as instituições classificadas no Nível 2 (UNICENTRO e UNILA) possuem políticas institucionais formais sobre gestão de dados, mas ainda não implementaram um repositório específico para

dados científicos. Isso limita o potencial dessas IES, pois, apesar das diretrizes existentes, os dados de pesquisa continuam sem um ambiente adequado para armazenamento e compartilhamento.

As instituições no Nível 1 (UNESPAR, UEPG e UENP) possuem apenas repositórios institucionais voltados para teses e dissertações, sem políticas formais de gestão de dados ou infraestrutura para o armazenamento de dados de pesquisa.

Já as instituições no Nível 0 (IFPR e FAFIMAN) não apresentam políticas de gestão de dados nem repositórios institucionais, dificultando a transparência e a reprodutibilidade das pesquisas.

Esses resultados evidenciam a necessidade de aprimorar a infraestrutura e as políticas de gestão de dados nas IES do Paraná, garantindo maior acessibilidade para consulta e reuso dos dados científicos produzidos.

A Figura 1 (Relação entre Número de Docentes e Nível de Gestão de Dados) mostra que instituições com maior número de docentes, como a UTFPR, tendem a ter sistemas mais estruturados (nível 3), destacando a influência da qualificação e da força de trabalho acadêmica na gestão de dados.

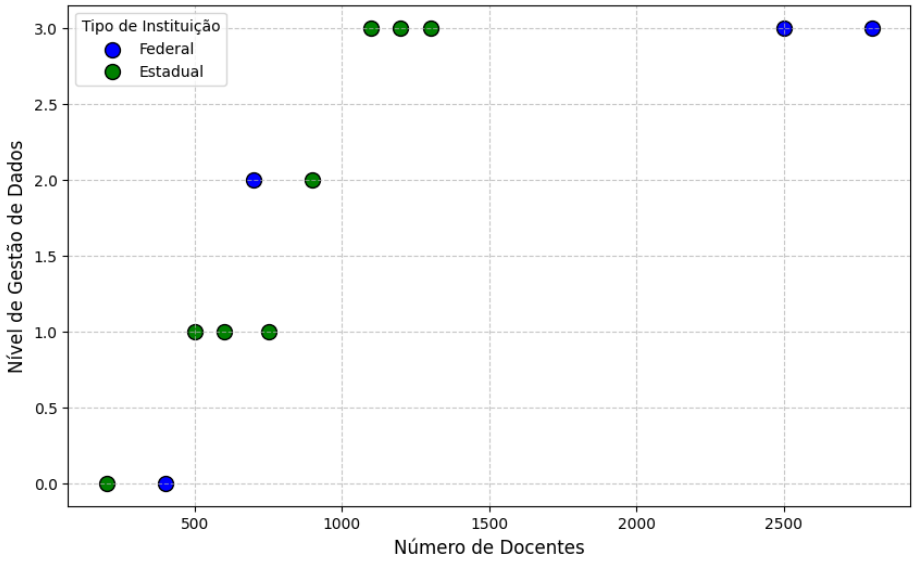


Figura 1. Relação entre Número de Docentes e Nível de Gestão de Dados.

Já a Figura 2 indica que IES mais antigas e com múltiplos campi, como a UFPR, possuem infraestrutura mais consolidada, reflexo da maturidade institucional e da expansão ao longo do tempo.

No entanto, os investimentos específicos em gestão de dados científicos seguem limitados (cerca de 8% do orçamento de pesquisa, segundo FAPESP, 2020), impactando negativamente a interoperabilidade e a transparência, sobretudo nas universidades estaduais e nos institutos federais. Para garantir uma ciência aberta e reprodutível no Paraná, é fundamental que políticas públicas priorizem o financiamento, a padronização de diretrizes e a cooperação entre instituições.

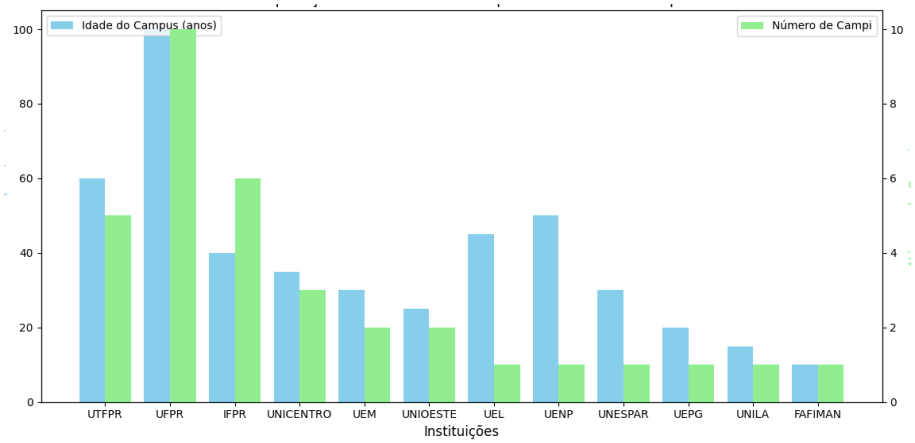


Figura 2. Comparação entre idade do campus e número de campi

CONCLUSÕES

A gestão de dados de pesquisa é essencial para a transparência e reprodutibilidade científica, mas ainda apresenta desafios no Paraná. O estudo revelou que universidades federais, como UTFPR e UFPR, possuem sistemas mais estruturados, enquanto universidades estaduais e institutos federais enfrentam limitações, muitas vezes restritas a repositórios de publicações acadêmicas.

A discrepância entre as instituições pode estar relacionada a investimentos e prioridades institucionais, impactando a adoção de políticas formais de gestão de dados. A ausência de diretrizes padronizadas reforça a necessidade de iniciativas que fortaleçam a infraestrutura e promovam a ciência aberta, garantindo maior acessibilidade e reutilização dos dados científicos no estado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Fundação Agrisus, Instituto Serrapilheira e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. O autor principal agradece em especial à Itaipu Parquetec pela bolsa de iniciação à extensão.

BIBLIOGRAFIA

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa: SBCS, 2015. p. 15-25, 47-53, 88-95. Acesso em: 08 mar. 2024.

GUANDALINI, C. A.; FURNIVAL, A. C. M.; ARAKAKI, A. C. S. Boas práticas científicas na elaboração de planos de gestão de dados. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 17, p. 5-12, 24-30, 2024. Universidade Estadual de Campinas. Acesso em: 09 mar. 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

GESTÃO DE DADOS DE SOLO NAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DO MATO GROSSO DO SUL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE IES FEDERAIS E ESTADUAIS

Ana Vitória Assis Dalzotto de Oliveira[1*], Vitor Peruzzi de Almeida[2], Débora Liriel Kerber Kempner[3], Pedro Barth[4], Alessandro Samuel-Rosa[5]

[1, 2, 3, 4] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná *anavitoria.ado@gmail.com. [5]Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

Este estudo apresenta uma análise comparativa das práticas de gestão de dados - considerando o contexto geral da gestão de dados de pesquisa -, em quatro Instituições de Ensino Superior (IES) do Mato Grosso do Sul: a Universidade Federal de Grande Dourados (UFGD), a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), a Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e o Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS). A investigação, fundamentada em análises documentais realizadas no mês de fevereiro de 2025, concentrou-se em aspectos como a existência de repositórios institucionais, a utilização de metadados, mecanismos de proteção intelectual, identificadores únicos persistentes e plano de gestão de abertura dos dados. Resultados indicam que, embora haja iniciativas consolidadas para a divulgação da produção acadêmica, nenhuma das instituições dispõe de diretrizes específicas para a gestão de dados, evidenciando uma lacuna que pode estar relacionada à influência políticas estaduais ou ao nível de formação ofertado.

PALAVRAS-CHAVE: gestão de dados; dados de solo; repositórios institucionais; políticas de dados.

INTRODUÇÃO

A gestão de dados científicos tem se tornado fundamental para garantir a transparência, reprodutibilidade e eficiência da pesquisa (Sales *et al*., 2022). Com o avanço da Ciência Aberta, cresce a necessidade de práticas institucionais que assegurem a acessibilidade e preservação dos dados acadêmicos, permitindo seu compartilhamento e reutilização em novas investigações (Sena, 2021).

No Brasil, instituições de ensino superior vêm adotando repositórios institucionais para divulgar a produção científica, mas desafios estruturais e normativos ainda dificultam a implementação de políticas eficazes para a gestão de dados (Lima, 2020). A falta de padronização, deficiências de financiamento e capacitação técnica são entraves para a adesão às diretrizes internacionais mais avançadas (Silva & Ottoni, 2023).

Entre os avanços na área, destaca-se a aplicação dos princípios FAIR (Encontrável, Acessível, Interoperável e Reutilizável), que visam facilitar o uso dos dados. No entanto, a sua adoção no Brasil ainda é limitada, devido à dificuldade de integração com plataformas institucionais e à ausência de diretrizes específicas nacionais (Sales *et al*., 2022; Santos & Medeiros, 2023).

Neste contexto, a Instituição Itaipu - Parquetec estabeleceu metas estratégicas para aprimorar a gestão de dados científicos. A Meta 1 deste estudo tem como o foco realizar um diagnóstico da gestão de dados de solo em 17 IES localizadas no Paraná e Mato Grosso do Sul. O objetivo é analisar as políticas institucionais de dados sob a luz das melhores normas, princípios de reprodutibilidade e eficiência pública.

Por meio disto, este estudo busca realizar uma análise comparativa entre as IES do Mato Grosso do Sul, conforme suas práticas de gestão de dados de pesquisa, examinando a existência de repositórios institucionais, diretrizes formais e planos específicos para a organização e compartilhamento de tais informações. Pretende-se também, compreender e analisar os desafios e limitações que as IES enfrentam, propondo assim, soluções para uma gestão mais eficiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas três etapas: mapeamento das IES que produzem dados de solo, coleta e a verificação das políticas institucionais dessas instituições e por último, a elaboração de relatórios diagnósticos, contendo recomendações para aprimoramento da gestão de dados.

As análises documentais coletadas visavam como objetivo a identificação de existências de políticas institucionais de gestão de dados científicos e também a existência de repositórios. Na realização da busca por documentos institucionais sobre a gestão de dados de pesquisa, foram utilizadas palavras-chaves como *"*dados de pesquisa*"*, *"*repositório de dados*"*, *"*política de dados*"*, *"*dados abertos*"*, etc*.*, nos portais de cada instituição. A pesquisa concentra-se nas bases de graduação e pós-graduação - locais que frequentemente disponibilizam regulamentos, manuais de pesquisa e relatórios acadêmicos -, além da exploração de bibliotecas digitais e também, algumas páginas institucionais relacionadas à pesquisa.

Para otimizar o processo de comando, utilizou-se o comando *"Ctrl+F"* para a pesquisa em documentos PDF e ferramentas de *Inteligência Artificial, como: ChatGPT, NotebookLM e DeepSeek,* que possibilitaram analisar os documentos por meio de perguntas específicas e diretas. A leitura detalhada de alguns trechos relevantes garantiu que apenas informações efetivamente relacionadas à gestão de dados de pesquisa fossem desnecessárias, evitando assim, a inclusão de documentos que tratassem de outros tipos de dados, como dados pessoais ou aqueles que tratam de estáticas institucionais.

Em relação às análises das quatros IES do Mato Grosso do Sul: a Universidade Federal de Grande Dourados (UFGD), a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), a Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e o Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS). Com base nos critérios fornecidos e nas análises documentais das IES, foi elaborado níveis para cada uma das Instituições. Essa classificação permitiu visualizar de forma clara as diferenças entre as Instituições, destacando assim, pontos fortes e aspectos a serem aprimorados em cada uma das IES. Os níveis são:

- Nível 0: Instituições sem repositório institucional nem políticas formais sobre gestão de dados.
- Nível 1: Se há a existência de um Repositório Institucional para o armazenamento de publicações (dissertações, teses e monografias), que aceita a publicação de dados de pesquisa produzidos na IES.
- Nível 2: Se há a existência de política de pesquisas e inovações ou similar que façam menção à gestão dos dados de pesquisa, por exemplo, mencionando algo sobre propriedade intelectual sobre os dados, carência para publicações, etc.
- Nível 3: Se há a existência de um Plano de Gestão de Dados de Pesquisa e/ou um Plano de Abertura de Dados de Pesquisa.
- Nível 4: Existência de Repositório de dados de pesquisa implementado e funcional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que as Instituições de Ensino Superior (IES) do Mato Grosso do Sul apresentam limitações estruturais significativas na gestão de dados científicos. Nenhuma das instituições analisadas atingiu o nível 4 (repositório de dados de pesquisa funcional). A maioria delas se encontra nos níveis 0 a 2, ou seja, possuem repositórios institucionais para publicações, mas sem diretrizes específicas para a gestão e compartilhamento de dados brutos de pesquisa.

Quando comparadas às IES do Paraná, observam-se diferenças significativas na maturidade da gestão de dados científicos. O estudo de Barth (2025) revelou que algumas universidades federais do Paraná já atingem os níveis 3 e 4, com políticas institucionais formalizadas e repositórios de dados operacionais. UFPR e UTFPR, por exemplo, possuem repositórios de dados de pesquisa bem estruturados, o que as posiciona em um estágio mais avançado na adoção de boas práticas para a ciência aberta.

Através da análise, notou-se que, a UFGD e a UFMS possuem repositórios institucionais voltados à divulgação de pesquisas acadêmicas, mas não evidenciam a existência de repositórios específicos para dados brutos de pesquisa, como os dados de solo. A UFGD conta com um Plano de Dados Abertos voltado para a transparência institucional, mas sem especificar diretrizes para a gestão dos dados de pesquisa. A UFMS possui normas gerais para a condução da pesquisa (Resolução CoPP nº 287/2021 e PDTIC 2025-2028), sem evidenciar um plano específico para os dados de pesquisa.

A UEMS não aborda a indicação da existência de um repositório institucional, tampouco da utilização da biblioteca como depósito para os dados de pesquisa. Não foram encontrados documentos que indiquem a existência de um Plano de Gestão de Dados (PGD) ou de um plano de abertura de dados de pesquisa na UEMS. A IFMS está em processo de implementação de um Repositório Institucional Digital, conforme recomendações da Coepe e a Instrução Normativa n° 04/2023. Entretanto, não foram encontradas diretrizes específicas para a gestão dos dados de pesquisa. Embora a IFMS disponibilize conjuntos de dados abertos para áreas diversas e esteja interessado no processo de implementação de seu repositório, não há menção de políticas específicas para a gestão ou abertura de dados de pesquisa.

A partir dos resultados das pesquisas e da análise dos perfis institucionais, é possível traçar as seguintes diferenças e tendências na gestão de dados de solo entre as IES de Mato Grosso do Sul – UEMS, IFMS, UFMS e UFGD – considerando a influência das políticas estaduais, a natureza das instituições (estaduais versus federal) e o nível de formação oferecido.

As Instituições Federais (UFMS, UFGD e IFMS), por serem federais, apresentam um maior acesso a financiamentos, como por exemplo no ano de 2023 em que a UFMS recebeu R$1 bilhão. As IES federais, possuem uma estrutura maior e atendem uma comunidade acadêmica mais ampla, o que justifica o orçamento mais elevado. Com isso, elas frequentemente dispõem de infraestrutura mais organizada para o gerenciamento de dados, incluindo dados de solo, integrando-os em projetos de mapeamento, monitoramento ambiental e estudos agroecológicos. A UFMS e a UFGD também possuem centros de pesquisas voltados para temas como uso do solo, sustentabilidade e agronegócio, o que dessa forma, permite o desenvolvimento de metodologias avançadas para a coleta, análise e integração de dados georreferenciados. Já o IFMS, é voltado para educação técnica e tecnológica, tende a aplicar esses dados em ações práticas e também de extensão, o que se aproxima da gestão de dados do uso direto da produção agropecuária, porém, a produção de pesquisas de alto nível é menor, comparado aos programas de pós-graduação.

Em Instituições Estaduais, como é o caso da UEMS, por ser uma universidade estadual, tende a ter uma forte ligação com as demais demandas regionais e as políticas estaduais, alinhando assim seus projetos às diretrizes impostas pelo governo do Mato Grosso do Sul, seguindo com os planos estaduais de manejo e conservação de solo. A UEMS, como universidade estadual, possui um orçamento menor, alinhado à sua estrutura e demandas específicas. Onde um exemplo foi o ano de 2024, em que a UEMS recebeu somente R$306,8 milhões, conforme o Projeto de Lei n°290/2023. A Universidade Estadual também conta com uma infraestrutura com um desenvolvimento menor para a gestão de dados complexos, o que pode limitar a sofisticação das ferramentas e metodologias usadas pela Universidade.

Em relação a influência das Políticas Estaduais, o estado do Mato Grosso do Sul, implementou uma proposta para um Plano Estadual de Manejo e Conservação do Solo e Água (a Lei 4.555, de 15 de julho de 2014 e também algumas iniciativas de mapeamento do uso do solo, como por exemplo, o Siga-MS (Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio de Mato Grosso do Sul), o que proporciona a Universidades Estaduais a terem um contato maior com o estudo. Enquanto as Instituições e Universidades Federais também beneficiam-se dessas diretrizes, porém tendem a complementar esses dados com suas próprias pesquisas juntamente com parcerias nacionais e internacionais, o que acaba resultando em pesquisas com uma abordagem mais integrada e tecnicamente avançada.

A participação em grandes projetos é essencial no meio acadêmico. Instituições federais, como UFGD e UFMS, integram frequentemente redes de pesquisa e parcerias com órgãos governamentais. Um exemplo é o Hospital Universitário da UFGD, convidado a integrar o Ecossistema de Inovação em Dourados-MS, um polo tecnológico voltado ao desenvolvimento local e à inovação. O IFMS, por sua vez, tem forte atuação prática e extensionista, focando em projetos que atendem às demandas locais, especialmente na aplicação de dados de solo para aprimorar a produção e a sustentabilidade regional.

CONCLUSÕES

Conclui-se que as diferenças na gestão de dados de solo entre as IES do Mato Grosso do Sul estão ligadas à infraestrutura e aos recursos disponíveis. As instituições federais (UFMS, UFGD e IFMS) possuem melhor estrutura, impulsionadas por programas de pós-graduação e maior financiamento. Em 2023, a UFMS recebeu cerca de R$ 1 bilhão, enquanto a UEMS, apesar do crescimento, alcançou R$ 429,5 milhões em 2024, evidenciando a vantagem do financiamento federal sobre o estadual.

Além do orçamento, a infraestrutura também varia: a UFMS conta com hospitais universitários e laboratórios modernos, a UFGD oferece 38 cursos de mestrado e doutorado, enquanto a UEMS, apesar de sua presença regional, enfrenta desafios de modernização. Assim, os Federais têm maior capacidade de investimento, enquanto a UEMS, fundamental para o desenvolvimento regional, lida com restrições financeiras que impactam seu crescimento e inovação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, ao MapBiomas, à FUNAPE, à FUNARBE, ao CNPq, Fundação Agrisus, e ao Instituto Serrapilheira e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. A autora principal agradece em especial à Itaipu Parquetec pela bolsa de iniciação à extensão.

BIBLIOGRAFIA

SALES, L. F.; VEIGA, V. S. O.; HENNING, P.; SAYÃO, L. F. (Orgs.). **Princípios FAIR aplicados à gestão de dados de pesquisa**. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict), 2022. Acesso em: 15 fevereiro. 2025.

SENA, N. C. S. **Gestão de dados de pesquisa científica na perspectiva da Ciência Aberta: um estudo de caso na Universidade Federal da Bahia**. 2021. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia. Acesso em: 15 fevereiro. 2025.

LIMA, J. S. L. **Gestão de Dados de Pesquisa no contexto da Ciência Aberta: percepção dos pesquisadores da Universidade Federal do Ceará**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Acesso em: 15 fevereiro. 2025.

SILVA, F. S.; OTTONI, H. Repositórios temáticos de dados de pesquisa em ambientes brasileiros: questões em debate. **Bibliocanto**, v. 9, n. 2, 2023. Acesso em: 15 fevereiro. 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE SOLO NO REPOSITÓRIO SOILDATA

Lisiane Sobucki[1*], Aline Mari Huf dos Reis[1], Débora Liriel Kerber Kempner[2], Taciara Zborowski Horst[3], Alessandro Samuel-Rosa[3]

[1]Pesquisadora, Universidade Tecnológica Federal do Paraná; [2]Estudante de Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná; [3]Professor(a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *lisiane_sobucki@hotmail.com.

RESUMO

Os repositórios digitais oferecem dados e informações para consulta e reuso nas pesquisas. No entanto, é fundamental que esses dados passem por um controle de qualidade antes de serem disponibilizados ao público. O objetivo deste trabalho foi implementar um módulo de controle de qualidade de dados de solo no Repositório SoilData, estabelecendo critérios e procedimentos de ação por especialistas da área da Ciência do Solo. A metodologia envolve a compilação e verificação das informações para identificar e corrigir inconsistências nos dados enviados para o depósito. Os resultados demonstram que 63% dos dados analisados apresentam inconsistências, como falhas na localização, data de coleta e dados de propriedades físicas do solo, principalmente. As estratégias de correção são detalhadas para garantir a confiabilidade dos dados para reutilização em pesquisas futuras.

PALAVRAS-CHAVE: compilação de informações; inconsistências nos dados; reutilização de dados; dados abertos.

INTRODUÇÃO

Dados e informações do solo em regiões tropicais são amplamente produzidos por cientistas brasileiros (Camargo *et al*., 2010) tanto na forma de artigos, como de trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado. No entanto, muitos desses dados e informações ainda não estão integrados a um sistema nacional de informação. Em muitos casos, parte deles é de difícil localização e/ou acesso, o que compromete sua reutilização.

A reutilização de dados de pesquisa exige a implementação de uma estrutura tecnológica e gerencial sustentável, como exemplificado pelos repositórios digitais de dados (Sayão e Sales, 2016). Esses repositórios, gerenciados por pesquisadores, incluem a seleção de trabalhos, digitalização, catalogação, controle de qualidade e disponibilização em plataformas de acesso aberto. No Brasil, o SoilData (https://soildata.mapbiomas.org/) é um repositório online gratuito e colaborativo voltado para dados de solos, destinado a pesquisadores, estudantes e profissionais das áreas agrícola e ambiental. Anteriormente denominado FEBR, o SoilData é um projeto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com o objetivo de preservar dados de solos gerados em pesquisas no Brasil.

O controle de qualidade é uma etapa crucial na disponibilização de dados. A World Soil Information Service (WoSIS) oferece dados gratuitos com perfis de solo padronizados e de qualidade assegurada, utilizados no mapeamento digital de solos e em aplicações ambientais. A triagem, o controle de qualidade e a padronização são etapas fundamentais do WoSIS (Batjes *et al*., 2024).

No repositório SoilData, até meados de dezembro de 2024, a compilação e curadoria dos dados eram realizadas por estudantes de graduação (Kempner *et al.*, 2023). Antes de sua reutilização em novos projetos e pesquisas, como o monitoramento do estoque de carbono pela Rede MapBiomas, os dados passavam pela avaliação de um especialista em Ciência do Solo, embora sem um procedimento formal. Devido às particularidades de cada estudo, a implementação de um processo automatizado de verificação de dados não se revela viável. Desse modo, objetivou-se implementar um módulo de controle de qualidade de dados de solo no Repositório SoilData, estabelecendo critérios e procedimentos de ação por especialistas da área

da Ciência do Solo, indicando os tipos de inconsistências, bem como as estratégias adotadas para sua correção.

MATERIAL E MÉTODOS

O fluxo de trabalho do SoilData compreende sete etapas principais: (1) empresas ou indivíduos disponibilizam documentos; (2) a equipe recebe os documentos e realiza a identificação e compilação dos dados; (3) inicia-se a compilação dos valores e descrições morfológicas, utilizando os métodos estabelecidos; (4) verifica-se falhas no reconhecimento dos dados; (5) corrige-se os métodos e inserção dos dados na planilha, em caso de falhas; (6) após a validação da ausência de falhas, os dados são definitivamente inseridos na planilha; e (7) os dados e descrições são disponibilizados livremente para consultas e pesquisas. As etapas 4 e 5 referem-se à identificação e correção de inconsistências, utilizando ferramentas específicas.

Atualmente, o controle de qualidade é realizado por um especialista em Ciência do Solo, que revisa os dados antes da disponibilização na plataforma de acesso aberto. Nesse processo, está sendo elaborado um documento intitulado *'Orientações para Controle de Qualidade de Dados de Solo'*, que reúne as diretrizes fundamentais para a verificação dos dados e a resolução de inconsistências. Essas diretrizes se baseiam em literaturas consolidadas, como é o caso do WoSIS (Batjes *et al.*, 2024), além da experiência prévia da equipe do repositório SoilData e do especialista. Os critérios de qualidade incluem a verificação da fonte dos dados, a data e o local de coleta, a classificação do solo, o uso e a cobertura da terra, os limites das camadas, as informações sobre frações finas e grossas do solo, os valores e as proporções do complexo sortivo, e a descrição dos métodos empregados. A estratégia de definição desses critérios considera a frequência das inconsistências: quanto mais frequentes, mais importante é o controle de qualidade. Serão apresentados, de forma detalhada, os principais tipos de inconsistências identificadas, bem como as estratégias adotadas para sua correção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente, os dados dos trabalhos são organizados em planilhas compostas por cinco abas principais, a saber: identificação, evento, camada, método (evento) e método (camada). Cada uma dessas abas passa por uma verificação detalhada realizada por especialistas. A aba de identificação contém informações gerais sobre o estudo, incluindo o título, os nomes dos autores, as publicações associadas, palavras-chave e notas complementares. A aba evento reúne os dados relativos aos pontos de amostragem, como a fonte de dados, a data e o local da coleta, a classificação do solo e as características de uso e cobertura da terra. Na aba camada, são descritas as informações sobre as camadas amostradas em cada perfil, incluindo dados sobre os limites das camadas, a fração grossa (> 2 mm) e a fração fina (< 2 mm), bem como informações sobre o complexo sortivo. Por fim, as abas de método (evento) e método (camada) detalham os procedimentos utilizados para a obtenção dos resultados em cada uma das variáveis mencionadas (Kempner *et al.*, 2023). Na Figura 1 está apresentado o atual fluxo de trabalho adotado pela equipe do Repositório SoilData.

Em relação à identificação e resolução de problemas, os dados analisados até o momento revelaram que 67% apresentaram alguma forma de inconsistência, enquanto 33% não apresentaram inconsistências. Entre os principais problemas identificados, destacam-se a inconsistência ou ausência de dados de localização, a ausência de data de coleta, inconsistências nos dados de propriedades físicas e químicas, falta de descrição dos métodos utilizados e problemas nos identificadores (Tabela 1). Dos trabalhos avaliados, 33,3% apresentaram múltiplas inconsistências, enquanto 66,7% apresentaram apenas uma inconsistência. As estratégias adotadas para a resolução das inconsistências estão detalhadas na Tabela 1.

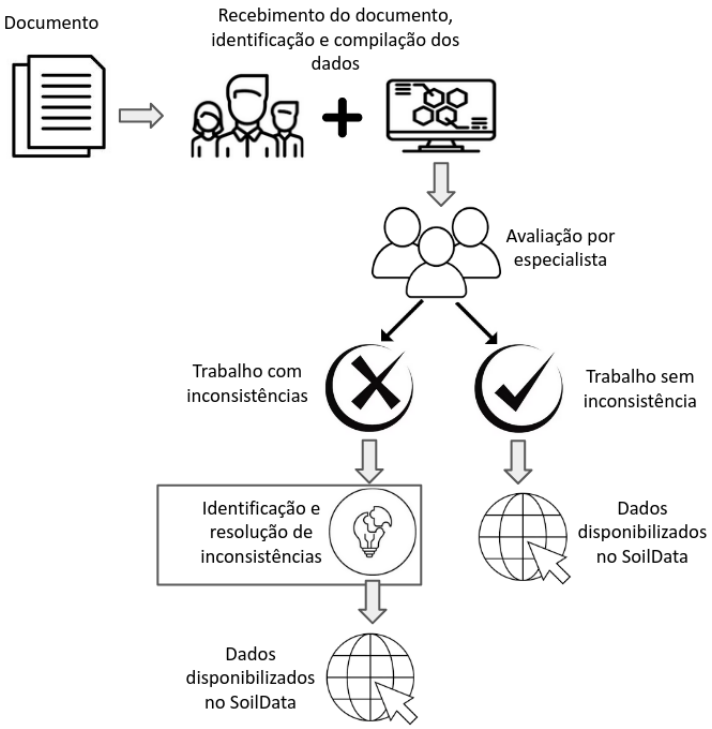


Figura 1. Fluxo de trabalho adotado pela equipe do SoilData.

Tabela 1. Caracterização das principais inconsistências, frequência de ocorrência e soluções implementadas.

Inconsistência	Frequência (%)	Soluções implementadas
Localização	35	O primeiro procedimento é o contato com o autor. Se ele não tiver as coordenadas geográficas, mas puder identificar as posições no mapa, a equipe as determina em reunião. Se não houver retorno, insere-se o valor #N/A.
Data de coleta	20	A ausência da data de coleta é resolvida com o contato ao autor. Substituir pela data de publicação não é viável devido à lacuna temporal entre a coleta dos dados e a publicação. Se não houver resposta, insere-se o valor #N/A.
Dados físicos	20	O somatório das frações da terra fina deve totalizar 100%. Se não for o caso, verificam-se erros, geralmente de digitação, comparando com outras camadas e descrições morfológicas. A falta de dados sobre a fração grossa é corrigida com o contato aos autores.
Dados químicos	10	As principais inconsistências envolvem problemas nas somas e proporções do complexo sortivo. Para corrigi-las, verifica-se várias dimensões, criando colunas para somas de bases, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e alumínio. As correções são registradas na coluna de curadoria, e, quando o erro não é identificado, ele é documentado, mas os dados não são alterados.
Descrição dos métodos	5	Os métodos utilizados são minuciosamente verificados no documento original do trabalho. Na ausência dessa informação, é estabelecido contato com o autor ou com o laboratório responsável pelas análises, visando obter os detalhes metodológicos necessários.
Uso e cobertura da terra	5	Na ausência dessa informação, são consultados os autores do trabalho. Caso a questão não seja resolvida, o valor #N/A é registrado.
Identificadores	5	Os autores do trabalho original são consultados para esclarecimentos. Na ausência de resposta, o especialista propõe uma alteração com base em sua análise.

CONCLUSÕES

Dentre os resultados apresentados, nota-se que as informações sobre localização e data de coleta são as mais negligenciadas pelos produtores de dados. Os dados das propriedades físicas do solo também costumam ser descritas de forma incompleta, bem como as metodologias das análises como um todo. Devido a essas inconsistências diversos conjuntos de dados não podem ser reutilizados. Portanto, a existência de repositórios de dados tem a função de fornecer informações para reuso, mas é essencial que esses dados passem por um controle de qualidade antes de serem acessados. Esse processo garante que as informações sejam precisas e confiáveis, permitindo seu uso adequado em pesquisas e aplicações futuras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Fundação Agrisus, Instituto Serrapilheira e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho, à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho e ao Laboratório de Pedometria da UTFPR pelo apoio na coleta dos dados. A autora principal agradece em especial ao Instituto Serrapilheira pela bolsa de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

BATJES, N. H.; CALISTO, L.; DE SOUSA, L. M. Providing quality-assessed and standardised soil data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2023). **Earth System Science Data**, v. 16, n. 10, p. 4735–4765, 2024.

CAMARGO, F. A. O.; ALVAREZ, V. H.; BAVEYE, P. C. Brazilian soil science: from its inception to the future, and beyond. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 589–599, 2010.

KEMPNER, D. L. K. *et al.* Gestão de dados e metadados no repositório de dados do solo brasileiro. *In*: VIII REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 2023, Dois Vizinhos. **Anais da VIII Reunião Paranaense de Ciência do Solo**. Dois Vizinhos: UTFPR, 2023.

SAYÃO, L. F.; SALES, L. F. Algumas considerações sobre os repositórios digitais de dados de pesquisa. **Informação & Informações**, v. 21, n. 2, p. 90–115, 2016.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INVENTÁRIO DE ESTUDOS SOBRE O EFEITO DA MUDANÇA DA COBERTURA E USO DA TERRA SOBRE O ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NO BIOMA AMAZÔNIA

Delara Maryamo Ibraimo Cassamo[1*], Guilherme Attila Ribeiro Sárkány[2], Taciara Zborowski Horst[3], Alessandro Samuel-Rosa[3]

[1]Estudante de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. E-mail: delaracassamo@gmail.com, [2]Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [3]Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

A conversão da floresta Amazônica em pastagem tem impactos negativos significativos no estoque de carbono orgânico do solo (COS). Este estudo teve como objetivo validar os mapas de COS do MapBiomas, utilizando cronosequências de áreas convertidas. Foram analisados 30 estudos selecionados em bases acadêmicas, com os dados organizados e analisados no RStudio e QGIS. A distribuição dos pontos de amostragem foi desigual, com maior concentração no estado do Amazonas e um pico de publicações no ano de 2000. A média da variação no estoque de COS para Floresta, Pastagem e Agricultura foi de aproximadamente 19 t/ha, 13 t/ha e 10 t/ha, respectivamente. A base de dados criada a partir do inventário, que possibilita a validação diacrónica, independente dos mapas, aprimora a precisão dos dados do MapBiomas, oferecendo suporte para a formulação de políticas ambientais mais eficazes.

PALAVRAS-CHAVE: carbono orgânico; conversão de floresta; bioma Amazônia; cronosequência.

INTRODUÇÃO

A Amazônia, o maior bioma florestal tropical do mundo, desempenha um papel crucial na regulação do ciclo do carbono, armazenando cerca de 100 bilhões de toneladas de carbono (KODALI *et al*., 2018). No entanto, a conversão da floresta em pastagem tem reduzido a capacidade do solo de reter carbono orgânico (COS), com impactos negativos na dinâmica do carbono no bioma. Entre 1985 e 2023, a área de pastagem na Amazônia aumentou de 12,7 milhões para 59 milhões de hectares em 2023. De acordo com os dados do (MAPBIOMAS, 2025), mais de 90% do desmatamento na Amazônia é destinado à pastagens.

Atualmente, a validação dos mapas de COS do MapBiomas Solo (1985–2023) é realizada por meio de validação cruzada, que não considera a dinâmica temporal e utiliza-se os mesmos dados para treinamento e validação. Esse processo pode superestimar a precisão dos mapas, uma vez que não leva em conta a variação temporal dos dados. Estudos anteriores já documentaram perdas substanciais de COS associadas à conversão de floresta para pastagem no Bioma Amazônia (DON; SCHUMACHER; FREIBAUER, 2011; ZANCHI, 2018). Contudo, a dispersão temporal e espacial dos dados dificulta avaliações abrangentes.

A hipótese do estudo é que a construção de uma base de dados externa, com base nos estudos sobre o impacto da conversão de floresta para pastagem no estoque de COS, permitirá uma validação mais confiável dos mapas de COS do MapBiomas Solo. A criação dessa base de dados possibilitará a realização de validação diacrônica independente, superando as limitações da validação cruzada. O objetivo deste estudo é realizar um inventário dos estudos existentes sobre o impacto da conversão de floresta para pastagem no estoque de COS. A partir dessa revisão, será criada uma base de dados externa que permitirá a validação independente e diacrônica dos mapas de COS do MapBiomas Solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste estudo fundamentou-se na análise de estudos que empregam cronosequências de áreas florestais convertidas para pastagens no Bioma Amazônia, conforme ilustrado na Figura 1, sem restrição quanto ao ano de publicação das pesquisas selecionadas.

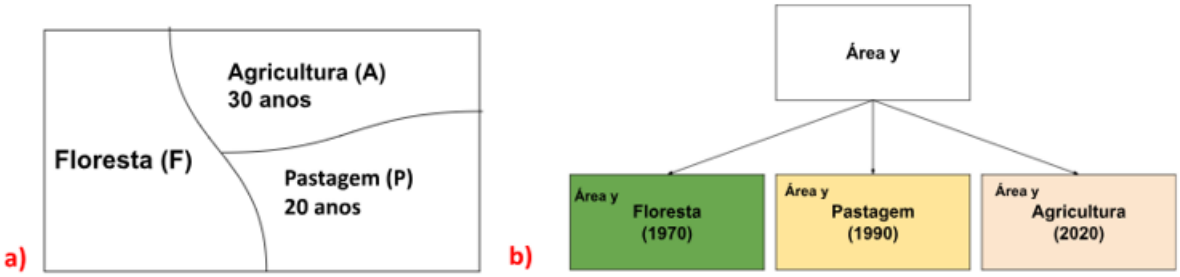


Figura 1. Esquema representativo da cronossequência do uso e cobertura do solo.

A seleção dos estudos foi realizada em bases acadêmicas, Google Scholar, Scopus, Web of Science, Portal de Periódicos da CAPES, SciELO e repositórios de universidades brasileiras. A busca focou em cronosequências que permitissem analisar a evolução do estoque de COS com a mudança do uso da terra. A pesquisa foi complementada com a análise das referências bibliográficas e contatos com autores para aprofundar a compreensão sobre os impactos da conversão de floresta em pastagem no estoque de carbono.

As informações foram organizadas em uma tabela, incluindo título, autores, ano, tipo de documento, localização geográfica, uso da terra e parâmetros edáficos e posteriormente, os intervalos de valores de estoque de carbono, granulometria e classe de solo foram extraídos, analisados. Posteriormente, fez-se uma análise descritiva da distribuição dos estudos por tipo de publicação, ano e frequência de amostragem por estado e cronosequências, utilizando o RStudio. A distribuição espacial dos pontos de amostragem foi representada em mapa temático, elaborado no QGIS. Por fim, foram identificados os intervalos de estoque de carbono, granulometria e classe de solo nos estudos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura resultou na identificação de 30 estudos que atendem aos critérios de inclusão estabelecidos. Desses, 24 correspondem a artigos científicos, enquanto os restantes se distribuem igualmente entre três teses de doutoramento e três dissertações de mestrado, evidenciando a prevalência de artigos.

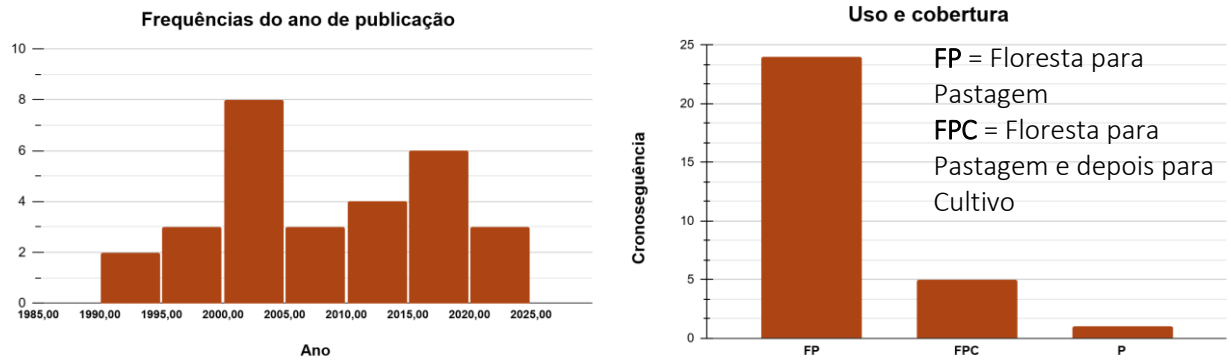


Figura 2. Frequências de publicação por ano (esquerda) e distribuição dos estudos por cronossequência (direita).

Observa-se, na Figura 2, um pico significativo de 8 publicações no ano 2000. Outros anos com maior frequência incluem 2005, 2015 e 2020, com 4, 3 e 5 publicações, respectivamente. Evidencia-se que a cronossequência dos 30 estudos analisados não foi uniforme, conforme a Figura 3.

A cronossequência FP (Floresta convertida para Pastagem) predominou em 24 trabalhos, alinhando-se aos dados do MapBiomas, que indicam que mais de 90% do desmatamento do bioma Amazônia está associado à abertura de áreas para pastagem, enquanto a cronossequência FPC (Floresta convertida para Pastagem e depois para Cultivo) tendo a soja como principal cultura observada em 5 estudos. Apenas 1 estudo focou exclusivamente no uso e cobertura de P (Pastagem).

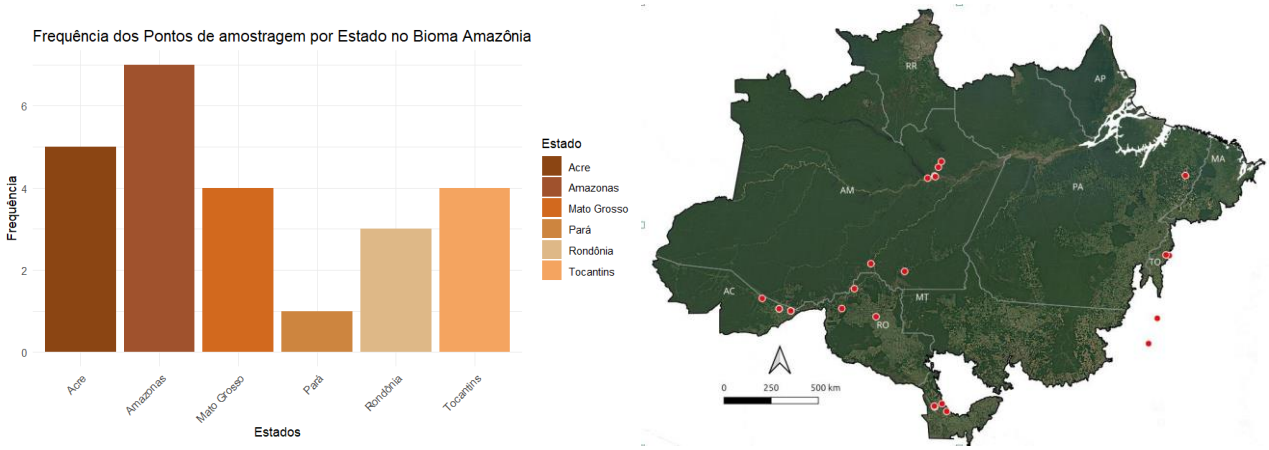


Figura 3. Frequência dos pontos de amostragem (esquerda). Distribuição espacial dos pontos de amostragem (direita).

Conforme ilustrado na Figura 4, a distribuição dos pontos de amostragem nos estados do bioma, que abrange nove estados, representa seis deles. O estado do Amazonas apresenta o maior número, com sete pontos de amostragem, seguido pelos estados do Acre, Mato Grosso, Rondônia e Tocantins, com cinco, quatro, três e quatro pontos, respectivamente. O estado do Pará conta com apenas um local de amostragem.

A distribuição espacial dos pontos de amostragem no Bioma Amazônia é heterogênea (Figura 2). O mapa mostra dois pontos fora do bioma, possivelmente em países vizinhos que também fazem parte da Amazônia, mas não da Amazônia Legal (as partes do Brasil), e um na borda, indicando áreas de transição. A maior concentração no Amazonas reflete sua diversidade ecológica, enquanto a ausência nos estados do Amapá, Maranhão e Roraima aponta para áreas pouco exploradas.

Os estudos predominam em solos Argissolos, Latossolos e Gleissolos. Geologicamente, as formações sedimentares e granito-gnaissicas são predominantes, com superfícies aplainadas resultantes de processos de intemperismo e erosão. A média do estoque de carbono no solo apresentou variação entre os diferentes usos da terra, com valores aproximados de 19 t/ha para Floresta, 13 t/ha para Pastagem e 10 t/ha para Agricultura.

CONCLUSÕES

Este estudo analisou 30 pesquisas sobre a conversão da floresta para pastagem no Bioma Amazônia, com ênfase nas cronosequências Floresta convertida para Pastagem (FP) e Floresta convertida para Pastagem e depois para Cultivo (FPC). A revisão da literatura indica que a conversão para pastagem tende a reduzir o estoque de carbono orgânico do solo (COS), conforme evidenciado pelos dados analisados.

A distribuição espacial dos pontos de amostragem mostrou maior concentração no estado do Amazonas, enquanto nos estados do Amapá, Maranhão e Roraima, a presença de pontos foi limitada, sugerindo a necessidade de expandir a pesquisa nessas áreas. O pico de publicações ocorreu em 2000, refletindo um aumento no interesse pelo tema.

A base de dados gerada contribuirá para a validação temporal dos mapas de COS do MapBiomas, aprimorando a precisão das análises. Esta validação diacrónica independente é fundamental para aumentar

a confiabilidade dos dados e apoiar a formulação de políticas ambientais mais eficazes, com foco na conservação e recuperação do Bioma Amazônia.
Os estudos foram realizados em Argissolos, Latossolos e Gleissolos, com predominância de geologia sedimentar e granito-gnáissica. O estoque de carbono variou de X a X e a granulometria de X a X, fornecendo dados para futuras validações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Fundação Agrisus, Instituto Serrapilheira e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. A autora principal agradece em especial ao MapBiomas pela bolsa de pesquisa. Agradecemos à equipa do Laboratório de Pedometria pelo apoio, em especial a Vitor Peruzzi pela coleta de dados, Marcos Cardoso pelas orientações sobre validação, Aline Mari Huf pela assistência na redação e aos Professores Carlos Pellegrino Cerri e Mayara Fraeda Barbosa Teixeira pela partilha de materiais.

BIBLIOGRAFIA

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis: SOIL ORGANIC CARBON AND LAND-USE CHANGE. **Global Change Biology**, v. 17, n. 4, p. 1658–1670, abr. 2011.

KODALI, A. *et al*. Understanding Climate-Vegetation Interactions in Global Rainforests Through a GP-Tree Analysis. Em: AUGER, A. *et al*. (Eds.). **Parallel Problem Solving from Nature – PPSN XV**. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2018. v. 11101p. 525–536.

MAPBIOMAS. **Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil de 1985 a 2023 - MapBiomas Brasil Coleção 9**. MapBiomas Data, , 17 jan. 2025. Disponível em: <https://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomas/4ZM3KX>. Acesso em: 9 mar. 2025

Projeto MapBiomas - Coleção 9 dos Mapas Anuais de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, acessados em [09/03/2025] através do link: https://brasil.mapbiomas.org/2024/10/03/mais-de-90-do-desmatamento-da-amazonia-e-para-abertura-de-pastagem/?form=MG0AV3

RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC. 2021. Disponível em: https://www.rstudio.com. Acesso em: 6 mar. 2025.

ZANCHI, F. B. Soil Carbon and the Carbon Cycle in the Central Amazon Forest. Em: MYSTER, R. W. (Ed.). **Igapó (Black-water flooded forests) of the Amazon Basin**. Cham: Springer International Publishing, 2018.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE DADOS DE SOLO EM ÁREAS ÚMIDAS DO ESTADO DO PARANÁ E CONISUL DO MATO GROSSO DO SUL

Gabriela Rossi[1], Ana Caroline Datsch da Silva[1], Taciara Zborowski Horst[2], Alessandro Samuel-Rosa[2*]
[1] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [2] Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
*alessandrorosa@utfpr.edu.br.

RESUMO

As áreas úmidas são fundamentais para a biodiversidade, regulação hídrica e sequestro de carbono, mas há falta de dados, especialmente sobre solos hidromórficos. Este estudo mapeou os trabalhos sobre solos em áreas úmidas no Paraná e Conisul do Mato Grosso do Sul, por meio de uma revisão sistemática da literatura em repositórios de IES e outras plataformas. Foram encontrados 22 estudos, com maior número de pesquisas no Paraná em comparação ao MS. As IES UNIOESTE e UFPR se destacaram, enquanto o Conisul do MS apresentou produção acadêmica mais restrita, possivelmente devido à sua menor extensão territorial.
PALAVRAS-CHAVE: áreas úmidas; solos hidromórficos; sequestro de carbono; Paraná; Conisul-MS.

INTRODUÇÃO

As áreas úmidas desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade, regulação hídrica e no sequestro de carbono. Esses ecossistemas, como pântanos, lagos e estuários, são fundamentais para a mitigação das mudanças climáticas, pois armazenam grandes quantidades de carbono. No entanto, estão entre os mais impactados pela ação humana, e sua destruição resulta na liberação desse carbono na atmosfera, agravando o efeito estufa (BOZELLI *et al*., 2018; MORAIS *et al*., 2017).

Apesar de sua importância, ainda há uma escassez de estudos sobre solos hidromórficos em áreas úmidas, especialmente em ecossistemas costeiros, como manguezais e pântanos de maré. Essas zonas costeiras são essenciais para o sequestro de carbono e desempenham papéis fundamentais na mitigação das mudanças climáticas. Além disso, oferecem serviços ecossistêmicos importantes, como proteção contra erosão e suporte à biodiversidade (HOWARD *et al*., 2014). A falta de pesquisa nessas áreas dificulta a compreensão de seu potencial no gerenciamento sustentável e no combate aos impactos ambientais, evidenciando a necessidade de mais estudos.

A escassez de estudos sobre solos em áreas úmidas, especialmente em ecossistemas costeiros, representa um desafio para a compreensão de seu papel no sequestro de carbono e na conservação ambiental (MCLEOD *et al*., 2011).

Acredita-se que, ao realizar o inventário sobre os estudos existentes sobre solos em áreas úmidas no Paraná e Conisul do Mato Grosso do Sul, será possível identificar lacunas no conhecimento e, assim, evidenciar a necessidade urgente de mais pesquisas sobre o papel dos solos hidromórficos no sequestro de carbono e na conservação ambiental.

Diante disso, este trabalho visa mapear os estudos de solos realizados nas áreas úmidas do estado do Paraná e Conisul do Mato Grosso do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia consistiu em uma revisão sistemática da literatura acadêmica sobre solos em áreas úmidas nas regiões do Paraná e do Conisul do Mato Grosso do Sul. O Conisul (Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento da Região Sul de Mato Grosso do Sul) é um agrupamento de municípios que cooperam para o desenvolvimento regional, incluindo áreas com relevância ambiental e agrícola. As buscas foram realizadas em repositórios digitais e plataformas, utilizando palavras-chave como "solos", "áreas úmidas",

"solos hidromórficos", "ecossistemas costeiros", "manguezais" e "carbono azul", focando nos estados de interesse. A seleção dos estudos foi restrita às regiões de relevância.

As fontes de pesquisa incluíram teses e dissertações encontradas em bases como Sucupira, o catálogo de teses e dissertações da CAPES, além de repositórios institucionais de Instituições de Ensino Superior específicas participantes da chamada Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial da Itaipu Parquetec, sendo, FAFIMAN, IFMS, IFPR, UEM, UENP, UNESPAR, UNICENTRO, UNILA, UEPG, UEL, UNIOESTE, UFMS, UFPR, UFFS, UFGD, UTFPR e UEMS.

A plataforma MapBiomas foi utilizada para facilitar a visualização das áreas úmidas, oferecendo uma visão geográfica detalhada. A Figura 3 foi gerada na plataforma QGIS, destacando as cidades em que possuíam estudos. Os trabalhos selecionados foram organizados em uma planilha no Google Planilhas, contendo título, IES, tema, localidade, URL e contexto, para facilitar a análise e a compreensão das distribuições das pesquisas. Trabalhos irrelevantes foram excluídos após a leitura dos resumos.

A tabela a seguir apresenta as Instituições de Ensino Superior (IES), seus repositórios digitais e plataformas, sendo a CAPES, Sucupira e o MapBiomas, onde foram realizadas as pesquisas, juntamente com seus respectivos endereços eletrônicos para acesso.

Tabela 1. IES, repositórios digitais, plataformas e suas respectivas URLs onde foram realizadas as pesquisas.

IES/PLATAFORMAS	REPOSITÓRIO DIGITAL	URL
FAFIMAN	Não encontrado	-
IFMS	Não encontrado	-
IFPR	Não encontrado	-
UEM	Repositório digital UEM	http://repositorio.uem.br/
UENP	Não encontrado	-
UNESPAR	Repositório digital UNESPAR	http://repositorio.unespar.br/
UNICENTRO	Repositório digital UNICENTRO	http://repositorio.unicentro.br/
UNILA	Repositório digital UNILA	http://repositorio.unila.br/
UEPG	Repositório digital UEPG	http://repositorio.uepg.br/
UEL	Repositório digital UEL	http://repositorio.uel.br/
UNIOESTE	Repositório digital UNIOESTE	http://repositorio.unioeste.br/
UFMS	Repositório digital UFMS	http://repositorio.ufms.br/
UFPR	Repositório digital UFPR	https://acervodigital.ufpr.br
UFFS	Repositório digital UFFS	http://repositorio.uffs.br/
UFGD	Não encontrado	https://portal.ufgd.edu.br/
UTFPR	Repositório digital UTFPR	http://repositorio.utfpr.edu.br/
UEMS	Não encontrado	-
CAPES	Catálogo de teses e dissertações da CAPES	https://catalogodeteses.capes.gov.br/
SUCUPIRA	Plataforma Sucupira	https://sucupira.capes.gov.br/
MAPBIOMAS	Plataforma MapBiomas	https://brasil.mapbiomas.org/

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados 22 trabalhos nas plataformas e repositórios digitais das instituições de ensino superior (IES). No entanto, não foram encontrados repositórios digitais para algumas IES, sendo, FAFIMAN, IFMS, IFPR, UENP e UEMS.

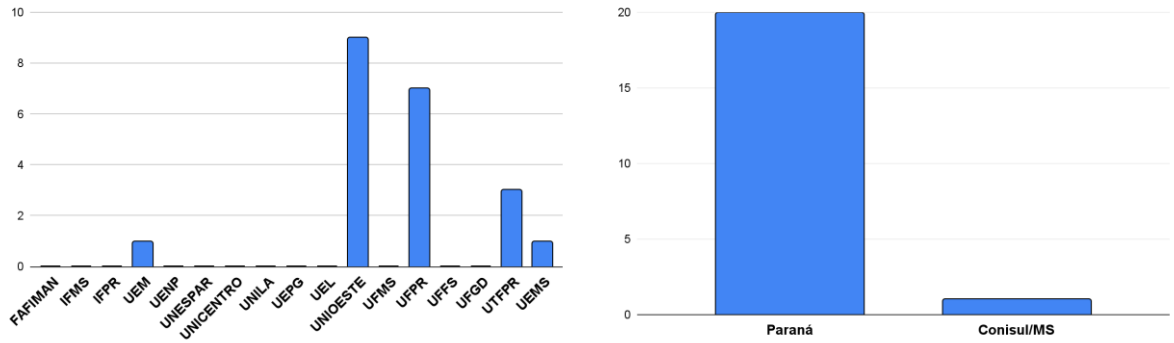


Figura 1. Distribuição de Trabalhos por IES – Paraná e Conisul/MS (esquerda) e Distribuição da Quantidade de Estudos por Estado - Paraná e Conisul/MS (direita).

A figura 1 revela que a UNIOESTE é a universidade com maior número de estudos sobre áreas úmidas, seguida pela UFPR, UTFPR, e em empate, pela UEM e UEMS, que apresentam a mesma quantidade de trabalhos sobre o tema. Além disso, observa-se que o Paraná (PR) possui uma quantidade significativamente maior de estudos sobre áreas úmidas em comparação com o Conisul do Mato Grosso do Sul (MS), o que pode ser explicado pela diferença de área territorial. Enquanto o estudo abrange todo o estado do Paraná (199.298,98 km²), o Conisul cobre apenas a região sul do MS, que tem aproximadamente 70.000 km² e não inclui o Pantanal, uma área que potencialmente concentra outros estudos.

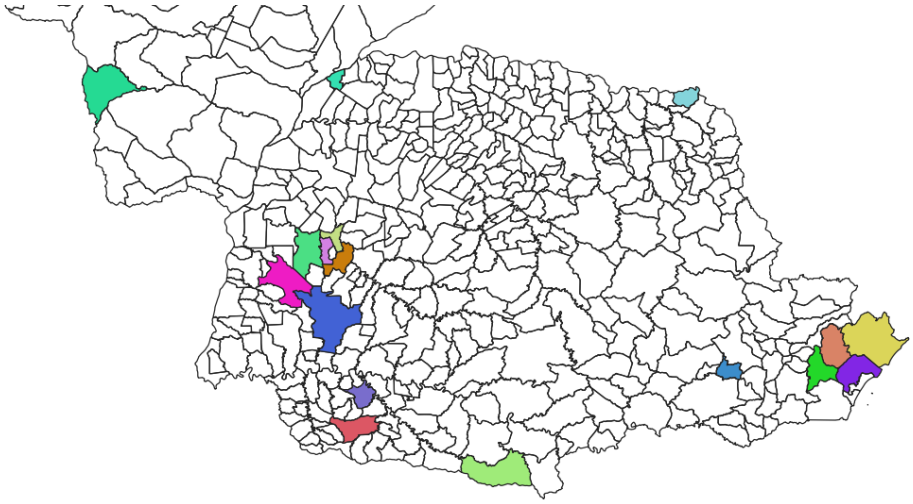


Figura 2. Municípios em que foram realizados os estudos, abrangendo o sul do MS e o Paraná.

A Figura 3 reforça a necessidade de ampliar os esforços de pesquisa nas áreas pouco exploradas do Paraná e Mato Grosso do Sul, especialmente nas regiões costeiras, que abrigam a maior parte das áreas úmidas, mas ainda possuem uma quantidade reduzida de estudos. Além disso, observou-se que algumas cidades concentraram mais de um estudo, o que pode indicar maior interesse acadêmico ou relevância ambiental dessas localidades.

No geral, os resultados mostram uma concentração de estudos em áreas úmidas no Paraná. No entanto, mesmo com essa liderança, ainda apresenta um número limitado de trabalhos sobre o tema. Já o Conisul/MS apresenta uma produção acadêmica mais limitada. Isso pode ser atribuído à menor extensão territorial da região e à falta de foco em solos hidromórficos. A escassez de pesquisas no Conisul reforça a necessidade de ampliar os esforços de estudos nessas áreas para compreender melhor seu papel no sequestro de carbono e na conservação ambiental, contribuindo para uma gestão mais eficaz dessas zonas.

CONCLUSÕES

As áreas úmidas são fundamentais para a regulação hídrica, conservação da biodiversidade e sequestro de carbono, mas ainda carecem de estudos, especialmente no Paraná, que conta com extensas áreas costeiras. O inventário evidenciou uma maior concentração de pesquisas no estado do PR, com destaque para a UNIOESTE e UFPR, enquanto no Conisul do Mato Grosso do Sul há uma lacuna significativa. Essa diferença pode estar relacionada à abrangência do estudo, que considerou todo o Paraná, mas apenas parte do MS, deixando de fora regiões onde podem existir mais pesquisas. A escassez de dados sobre solos hidromórficos reforça a necessidade de mais estudos e ações de preservação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Fundação Agrisus, Instituto Serrapilheira e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. A autora principal agradece em especial ao MapBiomas pela bolsa de iniciação à extensão. Agradecemos a Delara Maryamo Ibraimo Cassamo pelo apoio na revisão da escrita e a Débora Kerber pelo suporte no uso do QGIS.

BIBLIOGRAFIA

BOZELLI, R. L. *et al*. Pequenas áreas úmidas: importância para conservação e gestão da biodiversidade brasileira. **Diversidade e Gestão**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 122-138, 2018. Volume especial: Conservação in situ e ex situ da biodiversidade brasileira. Acesso em: 07 mar. 2024.

HOWARD, J.; ISENSEE, K.; TELSZEWSKI, M. Coastal blue carbon. **Conservation International**, 2014. p. 36-180. Acesso em: 07 mar. 2024.

MCLEOD, E. *et al*. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 10, p. 552-560, 2011. Acesso em: 07 mar. 2024.

MORAIS, Y. C. B. *et al*. Análise do sequestro de carbono em áreas de caatinga do semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 377-388, out.-dez. 2017. Acesso em: 07 mar. 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE DADOS DE SOLO EM FORMAÇÕES FLORESTAIS DO ESTADO DO PARANÁ E CONISUL DO MATO GROSSO DO SUL

Ana Caroline Datsch da Silva[1], Gabriela Rossi[1], Taciara Zborowski Horst[2], Alessandro Samuel-Rosa[2*]
[1] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [2]Professor(a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
[*] Autor correspondente: alessandrorosa@utfpr.edu.br.

RESUMO

A produção de dados sobre solos em formações florestais do Paraná e do Conisul do Mato Grosso do Sul é fragmentada entre diversas instituições, dificultando a consolidação do conhecimento e a aplicação em estratégias de conservação e manejo. Este estudo tem como objetivo mapear e analisar as pesquisas acadêmicas sobre os dados de solos nessas regiões, com base em teses e dissertações de diversas instituições de ensino superior. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática, com levantamentos e a organização dos dados, por meio de plataformas como Sucupira, CAPES e repositórios digitais das instituições envolvidas. Foram identificados um total de onze trabalhos, com a UTFPR, UEL e UEMS se destacando na produção de estudos sobre solos florestais, e a maioria das pesquisas sendo concentrada no Paraná. Conclui-se que a integração e análise desses dados são essenciais para otimizar o manejo sustentável e a conservação dos solos em formações florestais.

PALAVRAS-CHAVE: solos florestais; revisão sistemática; inventário de dados;

INTRODUÇÃO

Os solos florestais desempenham um papel crucial na manutenção dos ecossistemas, influenciando a biodiversidade e atuando como importantes reservatórios de carbono, contribuindo para a regulação do clima e o sequestro de carbono (JOBBÁGY; JACKSON, 2000). No entanto, pressões ambientais como o desmatamento, a fragmentação florestal e a expansão agrícola afetam diretamente a qualidade desses solos (JUVANHOL *et al*., 2011).

A falta de um inventário sistemático impede a compreensão clara das condições atuais dos solos e das mudanças que ocorreram ao longo do tempo, tornando a organização dos dados fundamental para a aplicação do conhecimento e o manejo sustentável (ROVEDDER *et al*., 2011).

A hipótese deste estudo é que a consolidação e análise sistemática dos dados de solos provenientes de diferentes instituições revelarão padrões e lacunas significativas.

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é elaborar um inventário e uma análise da produção acadêmica existente sobre solos em formações florestais naturais no Paraná e no Conisul do Mato Grosso do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada baseia-se em uma revisão sistemática da literatura acadêmica para a coleta e análise de dados sobre o solo em formações florestais, com foco nas regiões do Paraná e do Conisul do Mato Grosso do Sul. O Conisul é um consórcio intermunicipal que reúne municípios do sul do estado com o objetivo de promover o desenvolvimento regional por meio da cooperação entre as cidades participantes.

Os critérios da seleção dos estudos incluíram a busca por teses e dissertações em bases de dados institucionais e repositórios digitais, em alguns casos foram utilizados as plataformas Sucupira e o catálogo de teses e dissertações da CAPES. Foram consideradas produções acadêmicas produzidas pelas instituições específicas participantes da chamada Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial da Itaipu Parquetec como FAFIMAN, UEM, UNESPAR, UEL, UNIOESTE, UNICENTRO, UENP, UEPG, IFPR, UTFPR, UFPR, UFFS, UNILA, IFMS, UFMS, UFGD e UEMS.

Para a busca houve foco nos programas de pós-graduação em Agronomia de cada instituição de ensino superior (IES) , foram utilizadas palavras-chave como “solos”, “formações florestais”, “mata nativa”, “fragmentos florestais”, “análises do solo”, “atributos físico-químico” e “atributos do solo”.

Os critérios de exclusão foram: trabalhos sem acesso ao texto completo, e pesquisas realizadas em outros estados e região, permitindo que apenas estudos relevantes fossem considerados.

Os estudos foram selecionados a partir da leitura dos resumos das produções acadêmicas, com o objetivo de verificar a presença de dados de solo em formações florestais. Além disso, foi avaliado se os estudos especificam a localização da área de pesquisa.

A plataforma MapBiomas foi utilizada para facilitar a visualização de florestas naturais, oferecendo uma representação geográfica mais detalhada. Os softwares utilizados para a análise dos dados foram planilha eletrônica e QGIS.

Os dados das produções foram organizados numa base de dados registrando-se as seguintes informações: instituição responsável, título da pesquisa, local de estudo, período da pesquisa e contexto apresentado. Essas informações foram utilizadas para identificar as principais áreas de atuação no PR e sul do MS e dos tipos de análises realizadas. A Tabela 1 apresenta a identificação das IES e fontes consultadas, o repositório digital utilizado e a URL correspondente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das dezessete IES analisadas, cinco não possuíam repositório institucional disponível ou apresentavam restrições de acesso. Diante dessa limitação, foi necessário recorrer às plataformas Sucupira e CAPES para obter informações sobre a produção científica dessas instituições.

Foram identificados nove trabalhos nas bases de dados institucionais, repositórios digitais, plataformas Sucupira e CAPES. A Figura 1 (esquerda) apresenta a distribuição dos estudos por instituição de ensino superior (IES), demonstrando que as IES com mais estudos produzidos em áreas de formações florestais foram a UTFPR, UEL e UEMS. A Figura 1 (direita) mostra que a maioria das produções foi sediada no Paraná, com menor produção no sul do Mato Grosso do Sul.

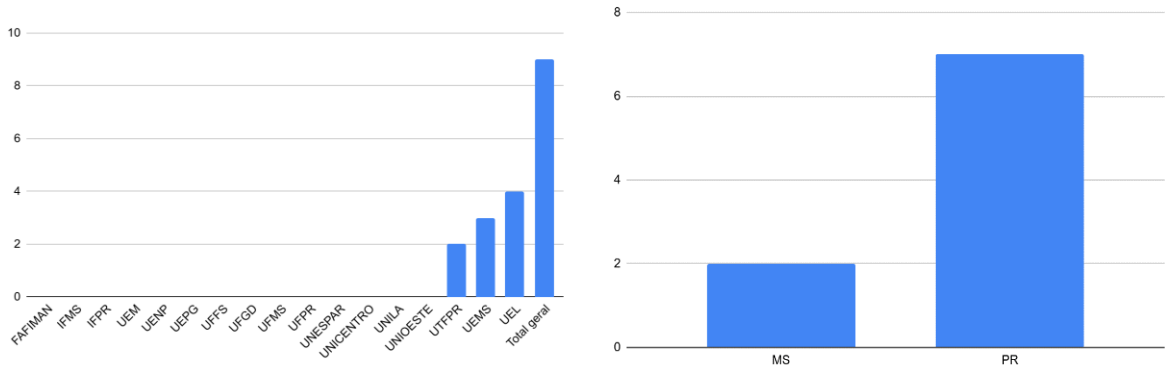


Figura 1. Distribuição dos estudos por IES (esquerda) e distribuição dos estudos por estado (direita).

A Figura 2 foi criada no QGIS, destacando as cidades onde ocorreram os estudos. Ela demonstra a limitação de áreas que possuem estudos, ressaltando a importância de intensificar as pesquisas nas regiões com florestas naturais menos exploradas do Paraná e sul do Mato Grosso do Sul.

A predominância de estudos no Paraná pode ser atribuída ao maior número de IES e pela sua vasta área territorial. Enquanto o Paraná abrange 199.298,98 km², o Conisul se limita à região sul do Mato Grosso do Sul, com cerca de 70.000 km². Enquanto à UEL, que produziu o maior número de estudos, seu destaque pode estar relacionado à sua infraestrutura.

Tabela 1. Identificação das IES, repositórios digitais e URLs

IES/Fontes de consultas	Repositório Digital	URL
FAFIMAN	não foi encontrado um repositório	-
UEM	Repositório Digital UEM	http://repositorio.uem.br/
UNESPAR	Repositório Digital UNESPAR	http://repositorio.unespar.br/
UEL	Repositório Digital UEL	http://repositorio.uel.br/
UNIOESTE	Repositório Digital UNIOESTE	http://repositorio.unioeste.br/
UNICENTRO	Repositório Digital UNICENTRO	http://repositorio.unicentro.br/
UENP	CAPES	-
UEPG	Repositório Digital UEPG	http://repositorio.uepg.br/
IFPR	CAPES	-
UTFPR	Repositório Digital UTFPR	http://repositorio.utfpr.edu.br/
UFPR	Repositório Digital UFPR	http://repositorio.ufpr.br/
UFFS	Repositório Digital UFFS	http://repositorio.uffs.br/
UNILA	Repositório Digital UNILA	http://repositorio.unila.br/
IFMS	CAPES	-
UFMS	Repositório Digital UFMS	http://repositorio.ufms.br/
UFGD	CAPES	-
UEMS	CAPES	-
CAPES	Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES	https://catalogodeteses.capes.gov.br/
Sucupira	Plataforma Sucupira	https://sucupira.capes.gov.br/

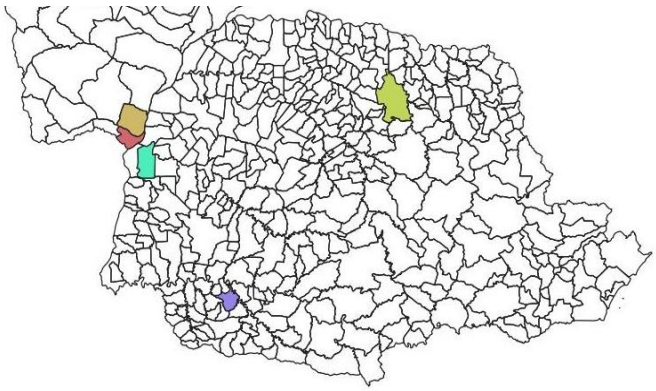


Figura 2. Mapeamento das cidades onde os estudos foram realizados, abrangendo o sul de Mato Grosso do Sul e o estado do Paraná.

CONCLUSÕES

A produção de dados sobre solos em formações florestais nas regiões do Paraná e do Conisul do Mato Grosso do Sul encontra-se de forma fragmentada. O inventário realizado evidenciou que a UEL, UEMS e UTFPR são as instituições com maior produção científica da área, com destaque para o Paraná, onde há

possivelmente mais infraestrutura acadêmica. No entanto, apesar da existência de pesquisas, a quantidade de estudos ainda é escassa para abranger toda a área dos solos florestais, tornando necessária uma ampliação das investigações na área.

Em contrapartida, o sul do Mato Grosso do Sul apresenta uma expressiva lacuna de pesquisa. A falta de dados consolidados compromete a compreensão dos solos e sua relação com os ecossistemas florestais. A ampliação dos estudos e a organização sistemática das informações são fundamentais para promover um manejo sustentável dessas áreas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, Instituto Serrapilheira, CNPq, Itaipu Parquetec e Fundação Agrisus pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. A autora principal agradece em especial ao Instituto Serrapilheira pela bolsa de iniciação científica.

Agradecemos a Delara Maryamo Ibraimo Cassamo pelo apoio na revisão da escrita e a Débora Kerber pelo suporte no uso do QGIS.

BIBLIOGRAFIA

JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 423–436, 2000.

JUVANHOL, R. S.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; PIROVANI, D. B.; LOUZADA, F. L. R. O.; DIAS, H. M.; TEBALDI, A. L. C. Análise espacial de fragmentos florestais: caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. **FLORAM**, v. 18, n. 4, p. 353-364, 2011.

ROVEDDER, A. P. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; DALMOLIN, R. S. D.; REICHERT, J. M.; SCHENATO, R. B. Compreensão e aplicabilidade do conceito de solo florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 517–528, 2013.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BIOMA AMAZÔNIA E SUA RELAÇÃO COM O TIPO DE SOLO PRESENTE

Any Beatriz Moreira Penteado[1*], Ana Caroline Pretto[2], Marcos Vinícius Souza Cardoso[3] , Alessandro Samuel-Rosa[4], Taciara Zborowski Horst[4]

[1] Estudante de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, any@alunos.utfpr.edu.br. [2] Estudante de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [3] Mestrando de Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiânia. [4] Professor(a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

O problema a ser resolvido neste estudo é compreender como o uso e a cobertura do solo na Amazônia têm se modificado ao longo do tempo (1985-2023) e de que forma essas mudanças se relacionam com os diferentes tipos de solo. O objetivo é analisar esses dados no bioma Amazônia e avaliar a dinâmica espaço-temporal da cobertura natural e do uso antrópico dos últimos 38 anos, desde 1985 até 2023. Para a obtenção dos dados, utilizou-se a plataforma MapBiomas, que disponibiliza gratuitamente mapas anuais de cobertura e uso da terra, os métodos aplicados consistem no cruzamento de dados dos mapas temáticos gerados. Entre 1985 e 2023, a agropecuária cresceu 417%, sendo a pastagem o principal fator dessa expansão, aumentando em mais de 363%. A expansão da agropecuária, impulsionada principalmente pela conversão de florestas em pastagens, representa um desafio significativo para a conservação do bioma.

PALAVRAS-CHAVE: pastagem; Amazônia; solo; MapBiomas.

INTRODUÇÃO

A Amazônia, região que é reconhecida como a maior reserva de madeira tropical do mundo, com seus recursos naturais, que vão além da madeira e incluem vastos estoques de borracha, castanha, peixe e minérios, representa uma fonte abundante de riqueza. Além disso, abriga uma imensa diversidade cultural, com saberes tradicionais sobre o uso sustentável desses recursos, garantindo sua exploração sem comprometer o habitat natural. A floresta depende do próprio material orgânico para se manter e seu equilíbrio é extremamente sensível a qualquer interferência. Os impactos causados pela ação humana desenfreada podem ser irreversíveis, comprometendo sua regeneração e funcionamento. Nas últimas décadas, o bioma tem sofrido intensas transformações no uso e cobertura do solo, impulsionadas principalmente pela expansão da agropecuária (Ministério do Meio Ambiente, 2023).

Compreender a dinâmica espaço-temporal dessas mudanças é fundamental para avaliar esses impactos ambientais, sociais e econômicos, além de ajudar na formulação de políticas públicas e estratégias de conservação. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar os dados de uso e cobertura do solo na Amazônia, avaliando essa dinâmica do uso e cobertura nos últimos 38 anos (1985-2023), relacionando-os com o tipo de solo. Para isso, serão utilizados dados espaciais da plataforma do MapBiomas, permitindo a identificação e quantificação das mudanças do solo. Estudos anteriores já demonstraram a eficácia do uso de imagens de satélite na detecção dessas transformações, fornecendo informações valiosas para a gestão territorial e o planejamento ambiental (Anderson *et al*., 2018).

Este estudo contribuirá para o entendimento das transformações na Amazônia, auxiliando nas decisões para a conservação e o desenvolvimento sustentável da região. Além disso, oferecerá uma perspectiva inovadora, permitindo identificar áreas de vulnerabilidade e orientar estratégias de mitigação dos impactos ambientais, promovendo um equilíbrio entre exploração econômica e preservação ecológica.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção dos dados, utilizou-se a plataforma MapBiomas, que disponibiliza gratuitamente mapas anuais de cobertura e uso da terra no período de 1985 a 2023. Esses dados podem ser visualizados e consultados em diferentes recortes territoriais. Neste trabalho, foi delimitado o bioma Amazônia, que abrange aproximadamente 421 milhões de hectares (Figura 1). Além dos mapas temáticos, a plataforma também oferece informações derivadas, como as transições de uso e cobertura da terra, que foram a base desta análise. Os métodos aplicados consistem no cruzamento de dados dos mapas temáticos gerados pelo MapBiomas. O processamento dessas informações ocorre na plataforma Google Earth Engine (GEE), com armazenamento no Google Cloud. Por meio da plataforma, obtém-se o gráfico de Sankey, a partir do qual foram extraídas as informações necessárias. As classes de origem analisadas incluem formação florestal, formação savânica, floresta alagável, mangue, campo alagado e área pantanosa, e formação campestre, enquanto as classes de destino consideradas foram pastagem e agricultura. Além disso, realizou-se uma comparação entre os mapas de diferentes anos, com o objetivo de identificar os padrões de mudança nessas áreas de transição e verificar possíveis relações com as características do solo presente.

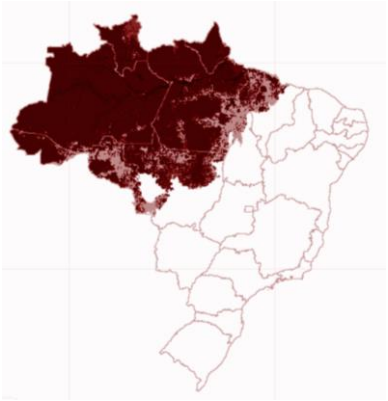


Figura 1. Abrangência do bioma Amazônia. Fonte: MAPBIOMAS (2025)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Amazônia ocupa aproximadamente 49,5% do território nacional, sendo 421 milhões de hectares. Atualmente, 81,3% dessa área ainda é coberta por vegetação nativa, mas, desde 1985, o bioma perdeu 55,3 milhões de hectares dessa cobertura. A Formação Florestal foi a classe de cobertura do solo que mais sofreu redução ao longo dos últimos 39 anos, com uma perda de 50,4 milhões de hectares. Por outro lado, a pastagem foi o uso da terra que mais se expandiu no bioma, aumentando 46,3 milhões de hectares desde 1985. Atualmente, 59 milhões de hectares da Amazônia são ocupados por pastagens, o que representa 36% das pastagens do Brasil, 14% da área total do bioma e 88% da área agropecuária dentro dele. O bioma passou por uma intensa transformação no uso da terra entre 1985 e 2023, com a agropecuária crescendo 417% nesse período. A pastagem foi o principal fator dessa expansão, aumentando em mais de 363% (figura 2), passando de 12,7 milhões de hectares em 1985 para 59 milhões de hectares em 2023. Esse crescimento acelerado fez da pastagem o principal destino do desmatamento ao longo dos anos, sendo responsável por mais de 90% da área desmatada. A área destinada para agricultura expandiu 47 vezes, saindo de apenas 154 mil hectares em 1985 para 7,3 milhões de hectares em 2023. No entanto, a abertura de novas áreas agrícolas seguiu uma dinâmica diferente: até 2004, o desmatamento para agricultura foi significativo, atingindo 147 mil hectares, mas caiu drasticamente nos anos seguintes, chegando a 23 mil hectares em 2006. A distribuição

dos solos na região mostra que as áreas de solos argilosos e muito argilosos estão concentradas principalmente na Amazônia, o que influencia diretamente a aptidão agrícola e o manejo dessas terras.

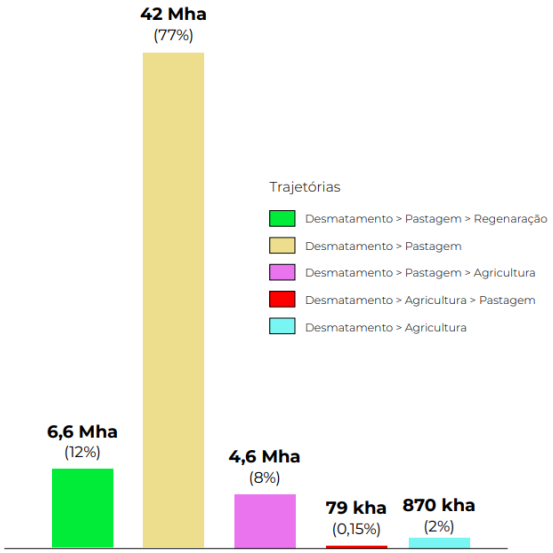


Figura 2. Uso final das áreas desmatadas na Amazônia na coleção 9. Fonte: Mapbiomas (2024)

Os dados também revelam uma intensa conversão de áreas naturais para atividades agropecuárias, com destaque para a transformação de formações florestais. A transição mais expressiva foi a de formação florestal para pastagem, com 45,5 milhões de hectares (figura 3), seguida por formação florestal para agricultura, com 5 milhões de hectares. Isso reflete a pressão histórica da pecuária e, em menor escala, da agricultura sobre a Amazônia. As florestas alagáveis, tiveram 2,3 milhões de hectares convertidos para pastagem e 351 mil hectares para agricultura, as formações savânicas e campestres também sofreram transformações, embora em menor escala.

Os resultados indicam um aumento da agropecuária em todas as classes de solo, resultando na redução da cobertura florestal, especialmente em solos de textura média e arenosa, onde a conversão foi mais intensa (Figura 3). Nos solos de textura média, por exemplo, a agropecuária saltou de 3% para 22%, enquanto a floresta caiu de 87% para 76%, evidenciando o desmatamento nessa classe textural do solo. Em solos arenosos, a expansão agropecuária foi ainda mais expressiva, aumentando de 6% para 25%, acompanhada por uma redução da floresta de 73% para 63%. Solos siltosos mostraram maior estabilidade, com uma variação mais modesta, enquanto os muito argilosos e argilosos apresentaram aumento da agropecuária de 4% para 7% e de 3% para 13%, respectivamente.

A expansão agropecuária nos solos muito argilosos, apesar de tradicionalmente menos favoráveis à agricultura, sugere uma pressão crescente por novas áreas produtivas na Amazônia. Nesse contexto, a região do AMACRO, que engloba partes do Amazonas, Acre e Rondônia, emerge como um epicentro dessas mudanças, impulsionada por políticas de colonização, expansão agropecuária e grandes projetos de infraestrutura, como estradas e hidrovias que facilitam o escoamento da produção. A produção de soja na região do AMACRO tem sido um dos principais vetores de mudança no uso do solo, contribuindo para o avanço do desmatamento (MONTEIRO & BERNARDES, 2024). O cultivo desse grão tem se intensificado devido à alta demanda internacional e à valorização econômica da commodity, levando à conversão de florestas e pastagens em extensas monoculturas.

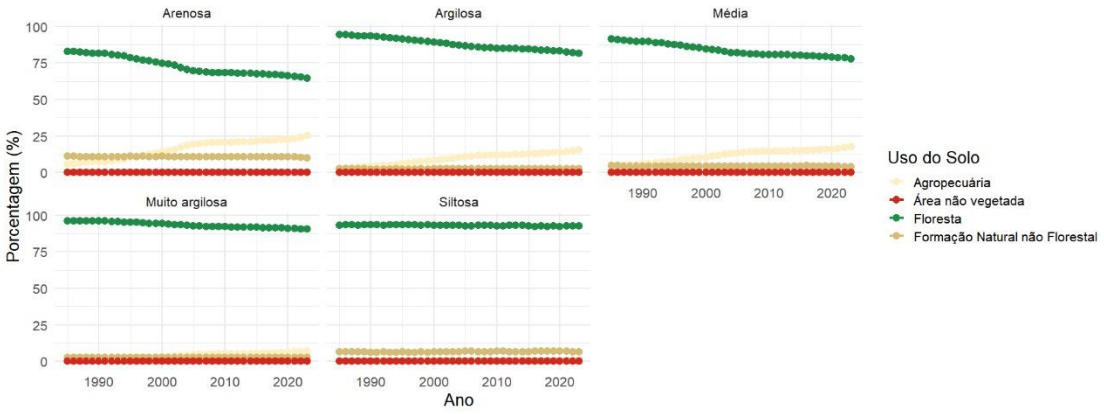


Figura 3. Uso final das áreas desmatadas na Amazônia na coleção 9

CONCLUSÕES

Com base nos dados analisados, fica evidente a intensa transformação do uso e cobertura do solo na Amazônia nas últimas décadas. A expansão da agropecuária, impulsionada principalmente pela pecuária e, em menor escala, pela agricultura, tem sido o principal vetor de desmatamento e conversão de áreas naturais. A transição de formações florestais para pastagens e áreas agrícolas, especialmente em solos de textura média e arenosa, demonstra a pressão crescente sobre os recursos naturais do bioma. A distribuição dos solos na região influencia diretamente a aptidão agrícola e o manejo das terras, com solos argilosos e muito argilosos concentrados na Amazônia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Fundação Agrisus, Instituto Serrapilheira e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. Agradecemos também a Delara Maryamo Ibraimo Cassamo e à Aline Mari Huff, que contribuíram para a elaboração deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

MONTEIRO, D. M. L. V.; BERNARDES, J. A. Avanço do agronegócio na Amazônia: antecipação espacial, processos de espoliação na tentativa de criação da AMACRO e expansão da fronteira agrícola. **Revista NERA**, v. 27, n. 2, p. e10122, 2024.

Amazônia. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia.html. Acesso em: 09 de mar. de 2025.

Projeto MapBiomas - Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 9, acessado em 09 de mar. de 2025 através do link: https://brasil.mapbiomas.org/Factsheet-Amazonia_C9_01.10_v2.pdf.

ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LADLE, R.; ARAI, E.; BARBIER, N.; PHILLIPS, O. L. Detecção por sensoriamento remoto do desmatamento e mudanças na cobertura da terra na Amazônia. **Global Change Biology**, v. 24, n. 4, p. 1580-1594, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1111/gcb.13910. Acesso em: 09 de mar. de 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DE DADOS DE SOLO DO PANTANAL: UMA ABORDAGEM DE CIÊNCIA ABERTA COM O REPOSITÓRIO SOILDATA

Vitor Peruzzi de Almeida [1*], Débora Liriel Kerber Kempner[2], Taciara Zborowski Horst[3], Alessandro Samuel-Rosa[3]

[1] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *vitorperuzi@gmail.com. [2] Estudante de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [3]Professor(a), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

O Pantanal, bioma que cobre aproximadamente 150 mil km², com 62% da área presente nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, estendendo-se também por Bolívia e Paraguai. Apesar de sua importância na regulação do ciclo hidrológico e conservação da biodiversidade, ainda é um dos biomas mais negligenciados, especialmente no que diz respeito ao solo. Este estudo visa, realizar o levantamento de dados existentes sobre o solo do Pantanal, analisando sua distribuição espacial e temporal. Para isso, foram utilizados dados do repositório SoilData, com a elaboração de histogramas para análise temporal e mapas para visualização espacial das amostragens. Os resultados permitem identificar lacunas de dados e contribuem para estratégias que promovam a conservação e melhor compreensão dos solos do Pantanal.
PALAVRAS-CHAVE: SoilData; Pantanal; dados abertos; MapBiomas; ODS15.

INTRODUÇÃO

A conservação sustentável dos ecossistemas terrestres constitui o pilar do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 15, estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). Entre as metas até 2030, destacam-se o combate à desertificação, a preservação da biodiversidade e o aumento de investimentos para a implementação de ações ambientais. No entanto, para alcançar esses objetivos, é fundamental compreender a base da vida terrestre, o solo.

O Brasil, abundante em biodiversidade, abriga biomas de extrema relevância ecológica, como o Pantanal, que cobre aproximadamente 150 mil km². Apesar de ser o menor bioma brasileiro em extensão, destaca-se como a maior planície alagável do mundo, desempenhando funções como o controle de enchentes, e o armazenamento e liberação gradual de água durante a seca (Irigaray, 2020). Além disso, o Pantanal abriga uma das maiores concentrações de vida selvagem das Américas, o que lhe conferiu o título de Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira e de Reserva da Biosfera pela UNESCO.

Apesar de sua importância, a carência de dados sobre os solos, ainda representa desafios para a elaboração de políticas públicas eficazes. Essas lacunas levam a decisões e estratégias inadequadas. Nesse contexto, o repositório SoilData surge como uma importante iniciativa para a gestão e o compartilhamento de dados de solo no Brasil, uma plataforma aberta e colaborativa para o depósito de dados de diversas fontes (Samuel-Rosa *et al.*, 2022). Com identificação, rastreabilidade e acesso gratuito a informações, contribui para o avanço da ciência e reconhecimento dos profissionais. Além disso, utiliza licenças e termos reconhecidos internacionalmente, o que assegura maior segurança e confiabilidade no uso dos dados.

Diante desse cenário, este estudo analisou os dados de solo do Pantanal disponíveis no SoilData, identificando lacunas de amostragem e propor estratégias para aprimorar a gestão e o compartilhamento de dados. A análise de dados disponíveis, contribui no melhor entendimento do solo do Pantanal, além de embasar decisões mais informadas e sustentáveis sobre o uso e a conservação desse bioma.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo utilizou dados do repositório SoilData, obtidos através de pontos presentes no trabalho Training Field Soil Data for Annual Mapping of Soil Organic Carbon Stock (0–30 cm) in Brazil, 1985–2023

(MapBiomas Soil Collection 2, Beta Version), disponível para acesso no repositório, selecionando apenas os pontos que abrangem o território do bioma Pantanal. Os dados foram consolidados em planilha CSV, contendo identificação única para cada ponto amostral. A distribuição espacial dos pontos foi analisada por meio de mapas gerados no software QGIS, enquanto a distribuição temporal foi avaliada através de histogramas produzidos no software RStudio. A densidade de amostras foi calculada por mil km², e as lacunas de dados foram identificadas tanto espacialmente, por meio dos mapas e temporalmente, por meio dos histogramas. Para garantir a reprodutibilidade do estudo, foram documentadas detalhadamente as fontes de dados, os métodos de processamento e a abordagem analítica. O estudo também dialoga com abordagens metodológicas anteriores, como análises de dados geoespaciais e a modelagem estatística. A localização do bioma no território brasileiro, é demonstrado na Figura 1.



Figura 1. Relação do bioma Pantanal no território.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados revelaram um total de 111 pontos amostrais, provenientes de 6 trabalhos demonstrados na Tabela *1*, presentes no repositório SoilData, distribuídos de forma heterogênea no espaço e no tempo. A densidade de amostras foi de 0,7 por mil km², considerada baixa para a representatividade do bioma. A distribuição espacial dos pontos mostrou concentração na área da Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal, região norte do bioma, enquanto a distribuição temporal revelou lacuna entre 1984 e 2004, tanto a distribuição espacial e histograma, são demonstrados na Figura 2.

No que diz respeito à distribuição das amostras, a maioria está localizada predominantemente em áreas naturais com cobertura florestal, arbustiva e herbácea, caracterizadas por solos com atributos físicos mais arenosos, típicos do bioma pantaneiro. Por outro lado, áreas utilizadas para pastagens e sujeitas a inundações frequentes são as mais carentes de informações sobre o solo, possivelmente devido à dificuldade de acesso a essas propriedades e regiões.

A distribuição temporal desigual dos trabalhos pode ser atribuída, em grande parte, ao protecionismo dos dados por parte dos autores, que ainda mantêm uma percepção ultrapassada de que não receberão os devidos créditos ao disponibilizarem suas pesquisas de forma aberta. Além disso, muitos estudos realizados no período anterior a 2004 foram perdidos devido à ação do tempo ou a danos mecânicos, uma vez que, naquela época, não era comum o armazenamento em nuvem ou a digitalização dos dados. Com mais de 40

anos passados desde 1984, muitos dos produtores originais desses dados já faleceram, tornando impossível recuperar essas informações. Esses fatores reforçam a urgência de promover a ciência aberta e colaborativa.

A análise dos resultados, revelou os empecilhos que ainda precisam ser superados, reforçando a relevância da ciência aberta como forma de preservar dados valiosos e promover a colaboração entre pesquisadores, evitando perdas como as ocorridas entre 1984 e 2004.

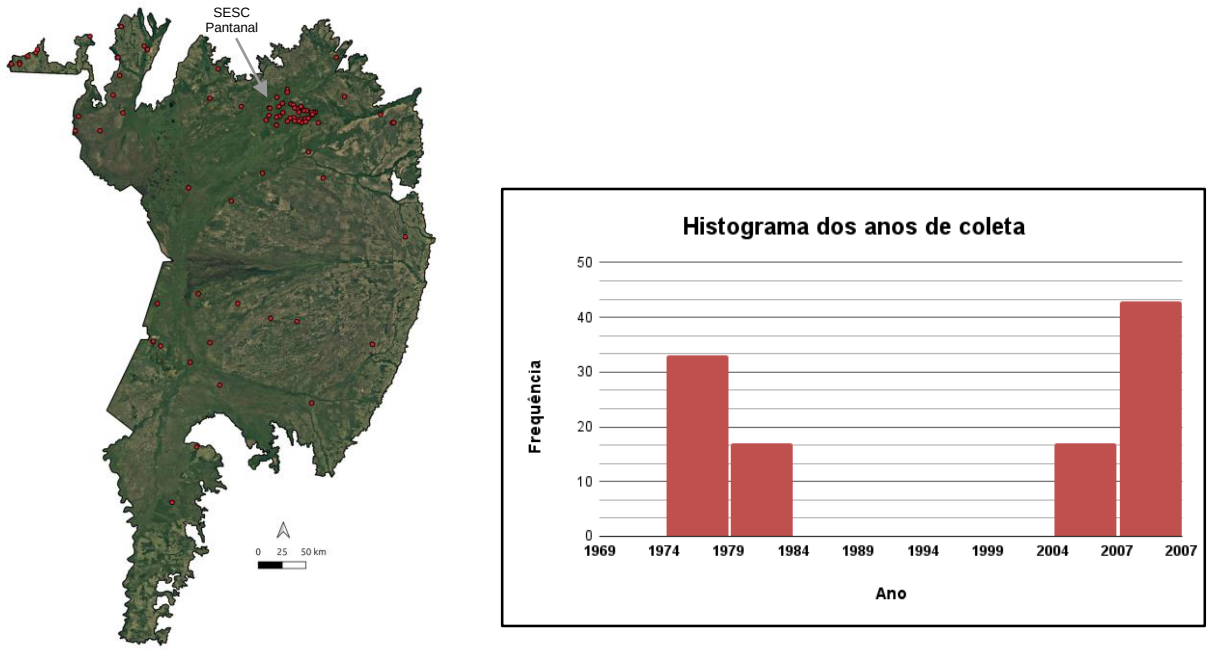


Figura 2. Distribuição espacial dos pontos (esquerda) e Histograma temporal das amostras (direita).

Tabela 1. Trabalhos presentes no arquivo, que abrangem o bioma Pantanal.

Trabalho	Pontos
BEIRIGO, Raphael Moreira *et al*. Solos da Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal. . Rio de Janeiro: SESC, Departamento Nacional. Disponível em: https://www.sescpantanal.com.br/arquivos/cadastro-itens/layout-6/arquivos/file-636003159185881485.pdf. Acesso em: 09 mar. 2025. , 2011	60
PIRES FILHO, A. M.; SANTOS, H. G. dos; MOTHCI, E. P.; SOBRAL FILHO, R. M. Levantamento de reconhecimento de média intensidade, avaliação da aptidão agrícola das terras e indicação de culturas em áreas homogêneas de solos de alguns municípios do sudoeste do Estado de Mato Grosso. [s. l.], 1982. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/336051. Acesso em: 9 mar. 2025.	16
PEREIRA, N. R.; AMARAL, F. C. S. do; ZARONI, M. J.; CARVALHO JUNIOR, W. de; BHERING, S. B.; SILVA, E. F. da; CUNHA, T. J. F.; CHAGAS, C. da S.; GONCALVES, A. O.; AGLIO, M. L. D.; AMORIM, A. M.; DANIEL FILHO, A. C. B.; LOPES, C. H. L.; TAKAGI, J. S. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Município de Nioaque, Estado do Mato Grosso do Sul. [s. l.], 2007. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/959648. Acesso em: 9 mar. 2025.	1
IBGE | BIBLIOTECA. [s. d.]. IBGE | Biblioteca. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=213270. Acesso em: 9 mar. 2025.	32
IBGE | BIBLIOTECA. [s. d.]. IBGE | Biblioteca. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=214553. Acesso em: 9 mar. 2025.	1
PCBAP - Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - Meio Físico.	1

CONCLUSÕES

O estudo identificou lacunas na quantidade e distribuição dos dados de solo do Pantanal. Para aprimorar a gestão e o compartilhamento de dados nesse bioma, propomos as seguintes estratégias: incentivar a coleta de novos dados de solo no Pantanal, tendo em vista a falta de amostragem como um todo no território do bioma; promover a padronização e a interoperabilidade dos dados de solo, facilitando a integração com outros bancos de dados e sistemas de informação; desenvolver ferramentas e plataformas para a análise e visualização de dados de solo do Pantanal, como mapas interativos e modelos estatísticos; fortalecer a colaboração entre pesquisadores, instituições e iniciativas de dados abertos, como o SoilData e o MapBiomas Solo. A adoção de práticas de ciência aberta e a valorização de dados abertos podem contribuir para um melhor entendimento do solo do Pantanal e para a tomada de decisões mais informadas sobre o uso e a conservação desse bioma.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR, MapBiomas, CNPq, Instituto Serrapilheira, Fundação Agrisus e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho e à FUNAPE, FUNARBE e IAMap pelo apoio técnico-administrativo na realização do trabalho. O autor principal agradece em especial à Itaipu Parquetec pela bolsa de iniciação à extensão. Agradecimento ao David Oliveira Pontes e Marcos Vinicius Souza Cardoso, por colaborarem com as revisões do trabalho.

BIBLIOGRAFIA

IRIGARAY, Carlos Teodoro José Hugueney. **Pantanal à margem da lei: panorama das ameaças e perspectivas para a conservação**. [*S. l.*]: Mupan, 2020.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento do Milênio**. 2015. Disponível em: https://www.unicef.org/brazil/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel. Acesso em: 6 mar. 2025.

SAMUEL-ROSA, Alessandro; ANJOS, Marcos Alexandre Dos; WENDLING, Graziele Feltrin Dias; ALMEIDA, Vitor Peruzzi De; HUF DOS REIS, Aline Mari; KEMPNER, Débora Liriel Kerber; SILVA, Luciana Da Luz; SANTOS, Bruna Zambrano Dos; HORST, Taciara Zborowski. **Curadoria e Gestão de Dados e Metadados no Repositório de Dados do Solo Brasileiro (FEBR)**. *In*: CIENTÍFICA DIGITAL, Editora **Open Science Research VII**. 1. ed. [*S. l.*]: Editora Científica Digital, 2022. p. 1288–1300. DOI 10.37885/221010529. Disponível em: http://www.editoracientifica.com.br/articles/code/221010529. Acesso em: 6 mar. 2025.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA DO ESTADO DO PARANÁ

Anderson Sandro da Rocha[1*], Luiz Felipe Cintra[2], Juliane Regina Becker[3]

[1,] Professor e Pesquisador na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Santa Helena - Paraná. Doutor Geografia – UEM – Universidade Estadual de Maringá. *E-mail: andersonrocha@utfpr.edu.br; [2,] Estudante do Curso de Agronomia na Universidade Tecnológica Federal do Paraná -Câmpus Santa Helena - Paraná. E-mail: luizcintra@alunos.utfpr.edu.br; [3,] Professora da Rede Estadual de Ensino do Paraná. Mestre em Geografia – UNIOESTE – Universidade Estadual do Paraná. E-mail: julianerberker@gmail.com

RESUMO

O mapeamento temporal de uso e cobertura da terra pode ser aplicado em diversas áreas do conhecimento e servem de instrumentos úteis para o planejamento agrícola, urbano e ambiental. A presente pesquisa teve como objetivo a análise de dados de uso e cobertura da terra do estado do Paraná. Para a realização do trabalho foram utilizadas as bases de dados da plataforma MapBiomas (Coleção 9). A primeira etapa metodológica compreendeu a coleta e compilação dos dados estatísticos do estado. Na segunda etapa foram realizados os mapeamentos temáticos utilizando as classes de representação: floresta, formação natural não florestal, agricultura, área não vegetada e corpo d'água de 1985 à 2020, contemplando 35 anos de análise. Os resultados das análises temporais permitiram observar que as principais transformações no uso e cobertura da terra ocorreram nas classes de agricultura, pastagem, floresta e área urbana.

PALAVRAS-CHAVE: análise espaço-temporal; geoprocessamento; cobertura do solo.

INTRODUÇÃO

O mapeamento do uso e cobertura da terra, como ferramenta de planejamento e gestão territorial, têm experimentado significativos avanços nas últimas décadas a partir da integração, em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), de produtos derivados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento (Medeiros e Albuquerque, 2019). A análise temporal tem permitido avaliar tanto a cobertura, como o uso do solo e suas finalidades em relação a forma como espaço geográfico é explorado ou conservado. Por exemplo, áreas com edificações podem ser destinadas à moradia ou comércio, lavouras são utilizadas para produção agrícola, enquanto florestas podem ter função de preservação ambiental (Carvalho, 2024).

Nesse sentido, os mapeamentos temporais são importantes para o monitoramento da expansão agrícola, das transformações do espaço urbano e principalmente para avaliação da manutenção e retração das áreas de preservação ambiental. Esses mapeamentos também podem ser aplicados na análise de produtividade, para comparação das áreas de expansão das culturas agrícolas e para avaliação dos níveis de degradação das pastagens (Cordeiro *et al*., 2020). Diferentes pesquisas realizadas no estado do Paraná, utilizaram também os índices de cobertura florestal para determinar o nível de preservação das matas ciliares e reservas legais, bem como para obtenção dos índices de fragilidade ambiental e capacidade de uso da terra (Demarchi *et al*., 2024; Rocha *et al*., 2024). Além dos fatores agropecuários e dos ambientes de preservação a análise temporal também permite observa o nível dos corpos d'água em relação variação da área ocupada por rios e lagos. Conforme desta Macedo et.al, (2023), a análise da variabilidade de massa de água em nível regional, se torna importante considerado que a água é um recurso limitado, e portanto, de suma relevância para o abastecimento urbano e para a produtividade do campo.

A partir dessas observações a presente pesquisa tem como objetivo a análise temporal do uso e cobertura da terra do Estado do Paraná do período que compreende os anos de 1985 e 2020.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa foram realizadas duas etapas metodológicas. A primeira etapa compreendeu a coleta e compilação dos dados de área total em hectares das classes de uso do estado do Paraná no período que compreende 1985 e 2020. Nessa etapa foram coletados dados da plataforma MapBiomas (Coleção 9). Na segunda etapa foram realizados os mapeamentos temáticos de uso e cobertura da terra das classes agrupadas. Para processar essas informações, foi utilizado o software QGIS, que é um software capaz de manusear imagens raster e gerar mapas de alta resolução. A realização dos mapas de uso e cobertura da terra foi realizada através do download dos arquivos no formato tif. Os arquivos foram categorizados e separados por classes e subclasses. As classes de representação foram: floresta, formação natural não florestal, agricultura total, área não vegetada e corpo d'água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de dados numéricos e gráficos, bem como os mapeamentos temáticos possibilitam observar importantes variações de uso e cobertura da terra do estado do Paraná entre 1985 à 2020. As principais modificações ocorreram em relação as classes de coberturas florestais e uso agropecuário.

Análise temporal do uso agropecuário no estado do Paraná.

O estado do Paraná possui uma área de aproximadamente 13,7 milhões de hectares ocupados pela agropecuária, que representa 69% da área total ocupada no estado.

A agropecuária apresenta diferentes sub-classes de uso. No contexto paranaense, destacam-se a agricultura temporária, agricultura permanente e pastagem (Figura 1). A análise temporal das três variáveis demonstra que em 1985 a pastagem apresentava a maior área ocupada com cerca de 5 milhões de hectares. Sendo que as culturas temporárias apresentavam pouco mais de 4 milhões e a perenes 168 mil hectares. A partir de 1990 ocorre um crescimento constante das lavouras temporárias e decréscimo das áreas ocupadas pela pastagem. A pastagem no cenário paranaense ocupava principalmente as áreas de solos de textura média e arenosa. Essas áreas eram ocupadas pela pecuária (corte e de leite). Nos últimos 35 anos a pastagem foi progressivamente cedendo lugar à para a agricultura.

A ampliação da agricultura ocorre por diversos fatores, mas podem estar associados particularmente aos investimentos e crescimentos da produção de grãos, aumento da demanda, fazendo com que a culturas temporárias, principalmente ocupadas por soja, milho e trigo, se tornem no contexto atual uma das principais atividades econômicas do estado (Cordeiro *et al*. 2020). Outra característica que influencia o uso do solo paranaense é a variabilidade da cobertura pedológica, nos setores onde predominam solos argiloso, como oeste e sudoeste, verifica-se grande potencial de produção agrícola, porém na região norte do estado, onde se observa solos arenosos, observa-se maior aptidão para o uso da pastagem. Em termos gerais pode se constatar por meio dos mapeamentos temporais que nos últimos 30 anos houve evolução das culturas de lavouras temporárias, como soja, milho e a cana de açúcar. Essas culturas já predominantes na região oeste, sudeste e campos gerais, teve um avanço territorial para o Norte e Noroeste paranaense. Também é possível observar um importante aumento da silvicultura na região Centro-Oriental paranaense.

Análise temporal das coberturas florestais, formações naturais não florestais e florestas plantadas no estado do Paraná.

As áreas compostas por coberturas florestais no estado do Paraná, apresentam-se subdivididas segundo o MapBiomas (2025) em quatro subclasses denominadas de: formação de floresta, floresta savânica, mangue e restinga arborizada. Entre as classes predominam as formações de floresta. A análise temporal das coberturas florestais demonstra que a área ocupada passou de cerca de 5.623.835 para 5.303.286 hectares entre 1985 e 2020 (Figura 2). As florestas tiveram uma grande perda entre 1985 e 1990,

com redução de aproximadamente 396 mil hectares. Nos anos seguintes, entre 1995 e 2005 também ocorreu uma redução de cerca de 100 mil hectares. Já nos últimos quinze anos as áreas florestais apresentaram uma importante recomposição com ampliação de mais de 200 mil hectares. Outro uso com destaque de no estado é silvicultura, que apresentou importante crescimento, passando de cerca de 350 mil para mais 1 milhão de hectares entre 1985 e 2020. Segundo a IBGE (2020), o Paraná é responsável atualmente por cerca 17% da produção de celulose do Brasil o que corresponde ao maior produtor do tipo de madeira de toras para o papel.

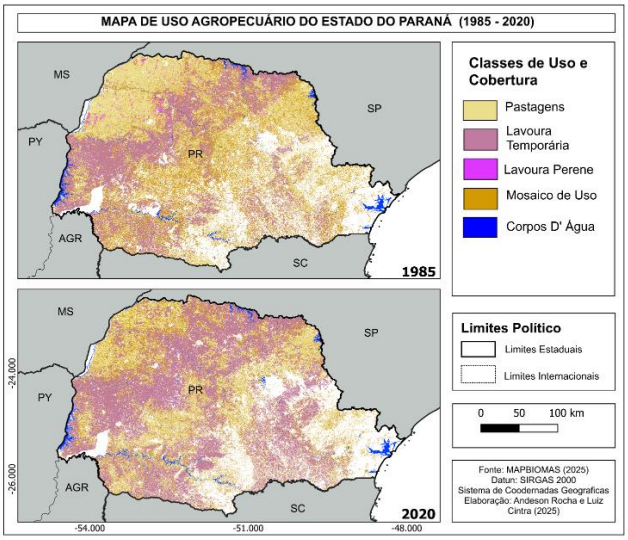


Figura 1. Evolução agropecuária no Paraná.

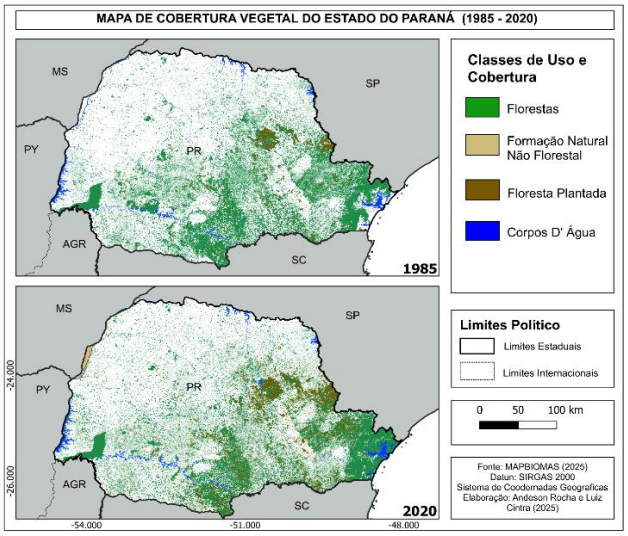


Figura 2. Evolução cobertura vegetal no Paraná.

A análise da variabilidade dos conjuntos de uso e cobertura da terra no estado demostram uma importante dinâmica de expansão e retração de algumas classes em termos de área ocupada por hectare (Quadro 1).

Quadro 1. Evolução temporal de uso e cobertura de solo no estado do Paraná.

Classes	Floresta (ha)	Vegetação Arbustiva e Herbácea (ha)	Agropecuária (ha)	Área não Vegetada (ha)	Corpo D´água (ha)
1985	5.722.565	216.514	13.484.832	137.995	365.985
1990	5.262.398	199.767	13.923.571	155.246	386.878
1995	5.157.565	196.407	14.001.149	177.367	395.414
2000	5.069.079	194.896	14.066.548	207.976	389.442
2005	5.088.798	204.174	14.017.374	231.080	386.482
2010	5.156.146	205.599	13.924.937	251.628	389.608
2015	5.236.655	201.645	13.815.622	285.118	388.910
2020	5.257.452	195.045	13.785.889	307.251	382.331

Ao longo dos últimos 35 anos de análise a agricultura apresentou aumento e retração em relação a área total ocupada. As áreas compostas por florestas apresentaram redução em termos totais, com concentração do desmatamento em alguns setores e reflorestamento em outros. O uso que apresentou

maior variação em termos percentuais foi o da área não vegetada, com aumento considerável devido a expansão das áreas urbanas. Já as áreas ocupadas pelos corpos d'água tiveram pequena variação ao longo da análise.

CONCLUSÕES

Os dados apresentados demostram a evolução da cobertura do solo no Paraná entre 1985 e 2020, com destaque para seguintes considerações:

- Redução da área florestal: a floresta diminuiu de 5.722.565 ha em 1985 para 5.257.452 ha em 2020, indicando um processo de desmatamento ou conversão para outras classe de usos do solo. Além do avanço da silvicultura, que cresceu consideravelmente nos últimos 30 anos.

- Crescimento da agropecuária: A área destinada à agropecuária aumentou de 13.484.832 ha em 1985 para 13.785.889 ha em 2020, embora tenha apresentado leve redução após 2000, sendo a agricultura avançado principalmente nas áreas anteriormente ocupadas por pastagens.

- Aumento da área não vegetada: Essa classe cresceu de 137.995 ha em 1985 para 307.251 ha em 2020, particularmente associada ao crescimento das áreas urbanas.

BIBLIOGRAFIA

CARVALHO, W. S.; OLIVEIRA, M. V. A.; SOUSA, J. H. S.; ÁVILA, M. E. B.; SILVA, E. C. Q.; GUILHERME, D. O. Classificação do uso e cobertura do solo em uma unidade de conservação usando imagens Sentinel 1. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 5, p. 01-15, 2024.

CORDEIRO, L. A. M. *et al*. **Integração lavoura-pecuária em solos arenosos: estudo de caso da Fazenda Campina no Oeste Paulista**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação ndvi e savi no município de santa cruz do rio pardo – sp usando imagens landsat-5. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise,** *[S. l.]*, v. 21, 2011. DOI: 10.5380/raega.v21i0.17416. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/17416. Acesso em: 13 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção da extração vegetal e da silvicultura 2020 – PEVS. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

MACEDO, H. R.; MORSOLETO, F. M. da S.; WERNECK, P. R.; BATISTA, D. C.; DE CARVALHO, A. G. D.; YUNES, R. V. F.; DA SILVA, A. F. C.; LIRA, K. C. da S.; FRANCISCO, H. R.; CORRÊIA, A. F.; FEIDEN, A. Caracterização morfológica, uso e cobertura do solo da microbacia hidrográfica do Córrego Chororó, no estado do Paraná, Brasil. **Cuadernos de Educación y Desarrollo, [S. l.]**, v. 15, n. 10, p. 10268–10286, 2023.

MAPBIOMAS. **Plataforma de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil**. 2025. Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura. Acesso em: [20/02/2025].

MEDEIROS, C. N.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento do uso e cobertura da terra em Áreas de Preservação Permanente do município de Caucaia, Ceará, Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 2, p. 94-112, 2020.

ROCHA, A. S.; GIOVANELLA, T. H.; ZATTI, G. K.; OLIVEIRA, F. C. Mapeamento geoambiental do Oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 06, p. 4441-4466, 2024.

VIEIRA, M., MENDONÇA, Y. C. M. Desmatamento da Mata Atlântica paranaense: análise espacial para o período 2014 e 2019. **Revista Catarinense de Economia**, P. 46–57, 2022.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

ATIVIDADES DE EXTENSÃO COM O REPOSITÓRIO SOILDATA NA GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Alessandro Samuel-Rosa[1*], Taciara Zborowski Horst[1]
[1] Professor(a), Laboratório de Pedometria, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *Autor correspondente: alessandrorosa@utfpr.edu.br

RESUMO

O trabalho descreve atividades de extensão realizadas no curso de Agronomia da UTFPR, utilizando o Repositório SoilData para promover a gestão de dados e a ciência aberta. As atividades incluíram o resgate de dados de artigos científicos e relatórios técnicos, além da produção de dados de perfis de solo. Na disciplina de Recursos Computacionais e Conteúdo Digital na Agricultura, os alunos digitalizaram dados de artigos e relatórios em planilhas eletrônicas, demonstrando habilidades na organização de dados, mas com dificuldades na distinção entre armazenamento e apresentação visual. A atividade de produção de dados de perfis de solo, realizada em campo, foi mais desafiadora, com alunos enfrentando dificuldades no uso do guia do IBGE e na organização dos dados em planilhas. Conclui-se que as atividades foram eficazes para integrar teoria e prática, sugerindo ajustes como a simplificação do guia do IBGE e maior treinamento no uso de planilhas.

PALAVRAS-CHAVE: extensão universitária; repositório de dados; ciência aberta; reprodutibilidade na pesquisa.

INTRODUÇÃO

A produção de dados de solo representa um componente essencial para o avanço do conhecimento em ciências do solo, demandando a promoção de ações e valores associados à ciência aberta, reprodutibilidade e compartilhamento de informações (WILKINSON *et al*., 2016). Nesse cenário, a disponibilização desses dados torna-se estratégica para a transparência e a evolução das pesquisas, sendo o Repositório SoilData (https://soildata.mapbiomas.org/) a plataforma brasileira de referência para a abertura e difusão de dados de solo, facilitando o acesso e a integração de informações por pesquisadores e instituições (SAMUEL-ROSA *et al*., 2022).

A formação acadêmica de qualidade passa pela incorporação de atividades de extensão universitária, que conectam os saberes teóricos com as demandas e desafios da sociedade em múltiplos níveis (PINHEIRO; SILVA NARCISO, 2022). Essas iniciativas ampliam o aprendizado prático dos estudantes, permitindo a aplicação de conhecimentos em contextos reais e a aproximação entre a academia e o setor produtivo. Nesse contexto, o Repositório SoilData se destaca como um projeto de extensão tecnológica da UTFPR, comprometido com a abertura dos dados de solo e sua salvaguarda para usos futuros, tanto por pesquisadores quanto por terceiros.

O presente trabalho tem como objetivo compartilhar as experiências acumuladas com as atividades de extensão desenvolvidas na graduação em Agronomia da UTFPR, inseridas no âmbito do Programa de Extensão em Sustentabilidade Territorial do Itaipu Parquetec (https://www.itaipuparquetec.org.br/programa-extensao/). Ao divulgar tais experiências, busca-se contribuir para a discussão sobre metodologias de ensino, inovação e a integração entre pesquisa e extensão, ressaltando a importância da gestão de dados e da ciência aberta na formação dos futuros profissionais.

ATIVIDADES DE EXTENSÃO

Foram desenvolvidas atividades de extensão em duas disciplinas do Bacharelado em Agronomia da UTFPR, câmpus Santa Helena. Na disciplina de Recursos Computacionais e Conteúdo Digital na Agricultura, os alunos são capacitados a gerir conteúdos digitais conforme normas técnicas e éticas, enquanto, na

disciplina de Produção de Informação de Recursos do Solo, o foco é na elaboração de informações sobre a distribuição territorial dos recursos do solo, por meio de dados e sistemas de classificação. As atividades incluíram o resgate de dados de artigos científicos e relatórios técnicos, bem como a produção de dados de perfis de solo (Tabela 1), utilizando o Repositório SoilData, que também possibilitou a identificação de melhorias na plataforma, reforçando o papel dos estudantes como colaboradores ativos no aprimoramento da ferramenta.

Tabela 1. Atividades de extensão em disciplinas do curso de bacharelado em Agronomia.

Semestre	Atividade	Número de alunos	Carga horária
Recursos Computacionais e Conteúdo Digital na Agricultura			
Set/2024	Resgate de dados de artigos científicos	70	5,0
Set/2024	Resgate de dados de relatórios técnicos	03	2,5
Fev/2025	Resgate de dados de relatórios técnicos	05	2,5
Produção de Informação de Recursos do Solo			
Dez/2025	Produção de dados de perfis de solo	28	10,0

Resgate de dados de artigos científicos

Em setembro de 2024, na disciplina de Recursos Computacionais e Conteúdo Digital na Agricultura, 70 alunos participaram de uma atividade de resgate de dados de artigos científicos, integrada ao módulo de gestão de dados tabulares em planilhas eletrônicas, com duração de cinco horas. A atividade foi motivada pela migração para a nova matriz curricular, que tornou a disciplina obrigatória no primeiro período, enquanto antes era optativa, reunindo alunos do segundo ao décimo período. Os objetivos foram: (1) familiarizar os alunos com a literatura científica, incluindo apresentação de dados tabulares, unidades de medida e organização de dados em planilhas; e (2) promover a abertura de dados de pesquisas em ciência do solo no Brasil, alinhada à missão do SoilData, para desenvolver noções de dados abertos e reprodutibilidade científica.

A atividade iniciou com a seleção de artigos da Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS), que deveriam conter dados brutos e estar em português, excluindo-se aqueles com apenas dados agregados. Os artigos escolhidos foram listados em uma planilha eletrônica e atribuídos aos estudantes, que digitalizaram os dados de quadros e tabelas em abas separadas do Google Sheets. Em uma aba chamada “Método”, descreveram o conteúdo, unidades de medida, métodos laboratoriais e anotações, enquanto na aba “Identificação” incluíram detalhes dos artigos obtidos via Zotero. As orientações foram dadas em aula, com demonstração de como transpor os dados para a planilha. A atividade começou em sala e foi concluída como tarefa para casa, com entrega via Moodle em sete dias.

Os estudantes concluíram a atividade com facilidade, identificando quadros, tabelas, variáveis, unidades de medida e informações adicionais nos artigos, demonstrando habilidade para reconhecer dados em publicações científicas. Alguns usaram capturas de tela para facilitar a visualização durante a digitação, mas apenas 17 dos 70 alunos incluíram a aba de identificação com dados do Zotero. Embora a análise de dados não fosse o foco, espera-se que os alunos estejam mais preparados para interpretá-los no futuro, dado o maior entendimento da estrutura de artigos científicos. Muitos adicionaram formatação visual, como células mescladas e cores, refletindo dificuldade em distinguir armazenamento de dados de apresentação, o que gerou planilhas diversificadas e complicou o controle de qualidade para publicação no SoilData. O acesso aos artigos da RBCS aumentou as métricas e visibilidade da revista, especialmente para artigos com dados brutos, beneficiando autores, órgãos de financiamento e potencialmente aumentando citações.

Resgate de dados de relatórios técnicos

Em setembro de 2024 e fevereiro de 2025, a disciplina de Recursos Computacionais e Conteúdo Digital na Agricultura realizou uma atividade de resgate de dados de relatórios técnicos de estudos pedológicos ou levantamentos de solos, com participação de oito alunos (três na primeira edição e cinco na segunda), integrando a avaliação substitutiva e totalizando 2,5 horas. Na primeira edição, os alunos estavam em períodos avançados, enquanto na segunda estavam no primeiro período. Os objetivos foram: (1) familiarizar os alunos com relatórios técnicos, incluindo apresentação de dados tabulares, unidades de medida e organização em planilhas eletrônicas; e (2) promover a abertura de dados de pesquisas em ciência do solo no Brasil, alinhada à missão do SoilData, para desenvolver noções de dados abertos e reúso de dados.

A atividade iniciou com a seleção de relatórios técnicos de estudos pedológicos ou levantamentos de solos que contivessem dados de perfis de solo (ambientais, morfológicos, químicos ou físicos) organizados de forma padronizada em uma seção do documento, em português e com dados brutos. Foram escolhidos dois relatórios: o "First International Soil Classification Workshop" e a tese "Relação solo-relevo-substrato geológico na planície costeira de Bertioga (SP)". Cada aluno da avaliação substitutiva digitalizou dados de perfis específicos em uma planilha modelo do SoilData no Google Sheets, preenchendo as abas "evento" (dados ambientais) e "camada" (dados morfológicos, biológicos, físicos e químicos), além de registrar seus nomes na aba "identificação". As orientações foram dadas em aula, com demonstração de como transpor os dados, e a tarefa foi concluída presencialmente, com monitoramento de um bolsista do SoilData, que prestou suporte e corrigiu irregularidades durante a digitalização.

Todos os estudantes concluíram a atividade com sucesso, identificando variáveis, observações e dados dos perfis de solo designados, cometendo poucos erros de digitação, o que demonstrou atenção e habilidade para manipular abas no computador. Alguns usaram o celular como tela auxiliar para visualizar dados e planilhas simultaneamente, e aqueles com mais experiência em digitação finalizaram a tarefa dentro do prazo com maior facilidade. Foi a primeira vez que os alunos trabalharam simultaneamente em uma planilha online, adaptando-se rapidamente. Essa atividade, mais estruturada que a de resgate de dados de artigos científicos, permitiu que os estudantes focassem na transposição dos dados sem precisar identificar sua estrutura, graças à padronização dos perfis de solo. Isso sugere que essa tarefa deve preceder a de resgate de dados de artigos. O suporte do bolsista do SoilData foi essencial para o sucesso da atividade.

Produção de dados de perfis de solo

Em dezembro de 2024, na disciplina de Produção de Informação de Recursos do Solo, realizou-se uma atividade prática de produção de dados de perfis de solo. A atividade contou com a participação de 28 alunos matriculados na disciplina e integrou o processo avaliativo, totalizando uma carga horária de 10 horas. Todos os alunos haviam participado, em setembro de 2024, de uma atividade anterior de resgate de dados de artigos científicos. A prática teve dois objetivos principais: (1) produzir dados de solo a partir do estudo prático de levantamento de solos em uma propriedade rural do município de Santa Helena, fortalecendo a habilidade de organização de dados em planilhas eletrônicas; e (2) promover a abertura de dados das pesquisas em ciência do solo, alinhada à missão do SoilData, com o intuito de desenvolver nos alunos noções de dados abertos e reprodutibilidade científica.

A atividade de produção de dados de perfis de solo foi realizada em grupo e dividida em três etapas. Na primeira, foram conduzidas atividades preparatórias em sala e no campo, com estudo e treinamento prático baseado no Manual Técnico de Pedologia do IBGE, complementadas por tarefas no Moodle a serem entregues no mesmo dia. Na segunda etapa, os alunos visitaram uma propriedade rural em São Clemente, Paraná, onde coletaram e mapearam solos, focando nas relações solo-paisagem, com tradagens de até um metro de profundidade em quatro pontos. Devido à complexidade do guia do IBGE, os dados foram

registrados em cadernos e folhas em branco, incluindo variáveis como coordenadas, elevação, declividade, erosão, uso da terra, horizontes do solo, cor, textura, raízes e outras observações. Na terceira etapa, os dados foram organizados em uma planilha modelo do SoilData no Google Sheets, com os estudantes trabalhando colaborativamente para compartilhar e compatibilizar as informações, já que nem todos participaram da visita. As orientações foram dadas em aula, e a tarefa foi concluída presencialmente até o final da aula.

Todos os alunos concluíram com sucesso as atividades preparatórias em sala e no campo, demonstrando interesse nos métodos de descrição e coleta de solos, mas o uso do guia estruturado do IBGE gerou dúvidas devido ao excesso de detalhes e campos irrelevantes para solos argilosos bem drenados de origem basáltica e para o método de tradagem, indicando que o guia não é ideal para atividades em nível de graduação. A experiência prática na propriedade rural foi bem-sucedida, com participação ativa dos alunos em todas as etapas, desde a seleção dos pontos de amostragem até a interpretação das relações solo-paisagem e registro dos dados, embora tenham demonstrado dificuldade em manter uma organização mínima durante o registro, sugerindo a necessidade de uma estrutura mais clara. A digitalização dos dados em uma planilha eletrônica não teve sucesso, pois os alunos preferiram concentrar os dados em tabelas no relatório textual, refletindo falta de familiaridade com planilhas e o enfoque em relatórios textuais em outras disciplinas. Apenas dados com colunas pré-definidas na planilha do SoilData foram registrados, como identificação do perfil, coordenadas e profundidade, indicando que os alunos não conseguiram extrapolar a estrutura básica sem orientação mais detalhada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades de extensão foram bem estruturadas e permitiram aos alunos aplicar conhecimentos teóricos na prática, fortalecendo habilidades em gestão de dados e familiarizando-os com ferramentas essenciais para a pesquisa em ciência do solo. A atividade de resgate de dados de artigos científicos foi bem-sucedida, com os alunos demonstrando capacidade para identificar e organizar dados em planilhas, enquanto a de relatórios técnicos mostrou-se ainda mais eficaz devido à estrutura clara e padronizada dos relatórios, facilitando a transposição dos dados. Recomenda-se manter a atividade de relatórios técnicos no primeiro período e deslocar a de artigos científicos para o segundo, permitindo o desenvolvimento gradual de habilidades. A atividade de produção de dados de perfis de solo foi a mais desafiadora, com dificuldades no uso do guia do IBGE, considerado excessivamente detalhado, e na organização dos dados em planilhas. Apesar disso, a atividade foi crucial para a aplicação prática de conceitos teóricos. Sugere-se mantê-la no quarto período, mas com um guia simplificado para descrição de solos e maior treinamento no uso de planilhas eletrônicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR e Itaipu Parquetec pelo financiamento do trabalho. O primeiro autor agradece em especial a Itaipu Parquetec pela bolsa de extensão.

BIBLIOGRAFIA

PINHEIRO, J. V.; SILVA NARCISO, C. A importância da inserção de atividades de extensão universitária para o desenvolvimento profissional. **Revista Extensão & Sociedade**, v. 14, n. 2, 31 dez. 2022.

SAMUEL-ROSA, A. *et al*. Curadoria e gestão de dados e metadados no Repositório de Dados do Solo Brasileiro (FEBR). Em: **Open Science Research VII**. 1. ed. Guarujá, São Paulo, Brasil: Editora Científica Digital, 2022. v. 7p. 1288–1300.

WILKINSON, M. D. *et al*. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. **Scientific Data**, v. 3, p. 160018, mar. 2016.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

A ESTRUTURAÇÃO DO MUSEU VIRTUAL DE SOLOS DO NORTE DO PARANÁ - MUVISOLOS

Jully Gabriela Retzlaf de Oliveira[1], Pedro Gustavo Aureliano De Queiroz [2], Tiago Ferreira de Souza[3], Lygia de Oliveira Ribeiro[4], José Rafael Vilela da Silva[5]

[1] Professora, [2] Estudante de graduação, [3] Estudante de graduação, [4] Professora, [5] Doutorando em Geografia. Universidade Estadual do Norte do Paraná. *jullyoliveira@uenp.edu.br

RESUMO

O solo fundamenta a vida no planeta pelas funções que lhe são inerentes e influencia direta e indiretamente várias atividades antrópicas. Assim torna-se fundamental levar à conscientização de que o solo é parte essencial do meio ambiente e está em permanente ameaça por diversas ações degradantes, suscitando a necessidade de melhorar a percepção pública e a compreensão do solo, o que pode ocorrer por meio da Educação em Solos. Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo apresentar a estruturação do Museu Virtual de Solos do Norte do Paraná - MUVISOLOS, destacando-o como um espaço virtual de Educação em Solos. Para a elaboração deste resumo expandido, inicialmente foi realizada uma revisão e estudo de referenciais bibliográficos e a apresentação de um relato sistemático da estruturação do MUVISOLOS. O MUVISOLOS começou a ser estruturado em novembro de 2024 e atualmente está na fase de coleta e organização de amostras de solos dos municípios que compõe a região norte do estado do Paraná.

PALAVRAS-CHAVE: educação em solos; solos do Paraná; coleção.

INTRODUÇÃO

O solo é a base da vida no planeta, desempenhando funções essenciais que influenciam direta e indiretamente diversas atividades humanas. Ele sustenta a produção de alimentos, fibras e energia, além de servir de alicerce para as cidades e infraestrutura de transportes. Também é fonte de matérias-primas e biodiversidade, participa dos grandes ciclos biogeoquímicos, filtra e transforma resíduos, atua como reservatório de água e preserva o registro histórico da evolução terrestre.

Segundo Freitas (2018) o estudo científico do solo, a aquisição e disseminação de informações sobre o papel que o mesmo exerce, e sua importância na vida do ser humano, são condições primordiais para sua proteção e conservação, e a garantia da manutenção de um ambiente sadio e sustentável.

Diante de tal assertiva, torna-se fundamental incentivar a sensibilização de que o solo é parte essencial do meio ambiente e está em permanente ameaça por diversas ações degradantes, suscitando a necessidade de melhorar a percepção pública e a compreensão do solo, o que pode ocorrer por meio da Educação em Solos.

A Educação em Solos abarca os atributos do solo nas relações sujeito/objeto e todas as suas complexidades, preceitos e lógicas, sociais e culturais, que são inseparáveis entre si (Lima *et al*., 2020b), portanto, configura-se como um processo formativo e humanizador dos sujeitos envolvidos, cujo a construção do conhecimento sobre solos é a partir de suas vivências (Lima *et al.,* 2020a).

Em especial, destaca-se que a Educação em Solos no Brasil está presente em diversos espaços educativos, formais e não formais, com propósitos que vão desde o ensino até a assistência técnica e a popularização da ciência (Silva; Vezzani; Lima, 2022). Assim, vários ramos da ciência e diversos espaços podem ser utilizados na Educação em Solos, como, por exemplo, um museu virtual de solos, foco deste trabalho.

Ressalta-se que os museus de ciências se reafirmam como um espaço de educação informal e contribuem para a educação em solos. Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo apresentar a estruturação do Museu Virtual de Solos do Norte do Paraná - MUVISOLO, destacando-o como um espaço

virtual de Educação em Solos. Além disso, busca-se estimular a criação de projetos similares, incentivando a montagem de seus próprios museus, e fortalecer o elo entre a universidade e a sociedade, bem como ampliar a Educação em Solos no país.

Para a elaboração deste resumo expandido, inicialmente foi realizada uma revisão e estudo dos referenciais que discutem os museus, com o objetivo de fundamentar o texto. Em seguida, fez-se um relato sistemático da estruturação do MUVISOLOS.

APROXIMAÇÕES TEÓRICAS SOBRE MUSEUS, MUSEUS VIRTUAIS E MUSEUS DE SOLOS

De acordo com o International Council of Museums – ICOM, a conceituação de museu seria:

> "Uma instituição permanente, sem fins lucrativos e ao serviço da sociedade que pesquisa, coleciona, conserva, interpreta e expõe o patrimônio material e imaterial. Abertos ao público, acessíveis e inclusivos, os museus fomentam a diversidade e a sustentabilidade. Com a participação das comunidades, os museus funcionam e comunicam de forma ética e profissional, proporcionando experiências diversas para educação, fruição, reflexão e partilha de conhecimentos" (ICOM, 2024).

Os museus, como instituições realizam pesquisas, expõem ao público e explicam esses resultados de forma científica a sociedade, ainda possuem análise e estruturação de seus acervos por meio da curadoria e no que se refere à materialidade, estes conservam e restauram seus acervos (Muggler, Toma, Pedron, 2022b).

Com o avanço da tecnologia e inovação, algumas instituições necessitavam de um *upgrade*. Entre elas, os museus, que começaram a disponibilizar seus acervos de forma virtual, através de sites próprios, nas redes sociais, entre outros meios que temos nesse mundo tecnológico (Henriques, 2018).

Nesse contexto, surgem os museus virtuais, voltados a propor novas faces de interação e de comunicação entre as pessoas. Para Henriques (2018, p. 57) seu acesso não se dá no ambiente físico do museu, mas em ambientes remotos, pois trata-se de "uma coleção de registros digitais, imagens, textos, arquivos de áudio e outros dados históricos, científicos ou de interesse cultural acessado através de uma mídia eletrônica", ou seja, o museu virtual é aquele que existe na virtualidade, sem lugar fixo e sem paredes.

Segundo Henriques (2018) o museu virtual pode ser tão ou mais eficaz quanto o museu físico, mas não o substituirá, é sim uma nova perspectiva de interação com o patrimônio, este é aquele que faz da internet espaço de interação através de ações museológicas com o seu público.

Assim, o museu virtual é um espaço virtual de mediação e de relação do patrimônio com o seu público. É um museu paralelo e complementar que privilegia a comunicação como forma de envolver e dar a conhecer determinado patrimônio (Henriques, 2018). A autora destaca que os museus virtuais são aqueles que trabalham o patrimônio, através de ações museológicas, mas que não necessariamente têm suas portas abertas ao público em seu espaço físico, priorizando a interação do público no espaço virtual.

Nesse caso, a existência de um museu virtual não pressupõe a existência e visitação pelo público de um museu físico. As ações museológicas são efetuadas, na sua maioria, no seu espaço virtual, o que não invalida algumas ações museológicas em espaços físicos, mas a essência das suas atividades museológicas concentra-se no seu espaço virtual (Henriques, 2018).

Um exemplo de museu virtual, "O Projeto Portinari", organizado pelo PUC Rio de Janeiro, foi criado em 1979, focando na catalogação da produção artística de Candido Portinari. O projeto trabalha na divulgação da vida e obra do artista, de uma forma que chame a atenção do público infanto-juvenil e ainda oferece cursos de capacitação a cada ano, tendo vários temas elaborados pelo grupo que administra o projeto, um deles sendo "A arte como direito e força emancipatória" (Projeto Portinari, 2025).

Já em relação aos museus de solos, Pedron *et al.* (2022) destaca que os museus de ciências que abordam solos são espaços que possibilitam o desenvolvimento da educação em solos, enquanto espaços de educação não formal, podendo ser estes museus temáticos de solos ou apresentar solos dentro de uma exposição juntamente com outros temas.

Nos museus de arte, o solo tem sido utilizado como elemento em exposições ou como matéria-prima em obras conceituais, apresentadas em ambientes físicos e virtuais. Em visitas a museus da América Latina e Europa, observamos alguns exemplos disso, como no Pavilhão do Panamá na Bienal de Arte de Veneza (Itália) em 2024, na exposição *"Traces: On the Body and on the Land"*, na qual a obra "*Mirages of the Gap"* utilizou camadas de lama para ilustrar as texturas ásperas do solo multicolorido panamenho, coletado pelo artista no local. Outro exemplo é a exposição *"El barro tiene voz: de las cerámicas prehispánicas al arte actual"* no Museu de Antioquia (Medellín, Colômbia), que inclui a instalação *"Límites al viento"* de Carlos Julio Quintero, destacando a gama e diversidade natural de cores dos solos do departamento de Santander, na Colômbia.

Pedron *et al*. (2022), colaboram com a ideia da educação em solos nos museus:

> "A educação em solos nos museus é um processo contínuo de produção de conhecimentos que ocorre desde a concepção das coleções, passando pelo seu estudo, se expressando na forma de exposições, desenvolvendo práticas pedagógicas e analisando suas ações educativas e científicas na interação com o público" (Pedron *et al*., 2022, p. 127).

Ainda segundo Pedron *et al*. (2022, p.120), "Os museus de solos são ricos em possibilidades e têm o potencial de apresentar e discutir aspectos ambientais e sociais ligados aos solos, pouco explorados em outros espaços". Nessa abordagem carregam uma dualidade de aspectos ambientais e sociais, o primeiro remete a classificação, tipos e texturas que os solos apresentam, já a segunda abordagem traz viés humano, da análise dos impactos socioambientais (Pedron *et al.,* 2022).

Por outro lado, os autores ressaltam como é difícil encontrar um museu de solos ou até mesmo exposições didáticas disponíveis a visitação, esses acervos acabam exclusivos para atividades de pesquisa, ensino e extensão, em outras palavras, sempre ficam nas universidades, só ocorrendo visitas com escolas que procuram a universidade para agendar uma visita.

Nesse contexto, torna-se necessário pensar em formas de tornar o acervo museológico de solos mais acessível à comunidade. Assim, acredita-se que os museus virtuais de solo podem ajudar na disseminação da importância da conservação e do manejo adequado do solo, especialmente em casos onde há uma carência de espaços físicos com estruturas adequadas para atendimento da sociedade, bem como escassez de um acervo pedológico regional.

A título de exemplificação de museu virtual de solo no Brasil, pode-se citar o Museu Virtual de Solos, Rochas e Minerais da Universidade Federal de Pelotas, que apresenta no seu acervo exemplares de monólitos de solos do Rio Grande do Sul e de outras partes do Brasil.

A ESTRUTURAÇÃO DO MUSEU VIRTUAL DE SOLOS NO NORTE DO PARANÁ - MUVISOLOS

O Museu Virtual de Solos do Norte do Paraná – MUVISOLOS está vinculado ao curso de Geografia da Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP, Campus Cornélio Procópio-PR e sua estruturação e implementação estão ocorrendo por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBITI.

O MUVISOLOS trata-se de um museu de ciências virtual de solos. O museu tem por objetivo reunir em ambiente virtual informações relevantes dos solos que ocorrem na região norte do estado do Paraná (Figura 1), bem como possibilitar aos visitantes o acesso ao conhecimento científico pedológico, de maneira contextualizada, didática, prática e interativa.

A região norte do estado do Paraná compreende as mesorregiões norte central e norte pioneiro do estado do Paraná, constituída por 125 municípios, com destaque para os municípios de Cornélio Procópio, Santo Antônio da Platina, Jacarezinho, Maringá e Londrina. Nessa região ocorrem uma grande variedade de tipos de solos: Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Neossolos, Gleissolos, Chernossolos e outros, com predomínio dos Latossolos e Nitossolos (Oliveira *et al.,* 2024).



Figura 1. Mapa das mesorregiões do Estado do Paraná. Elaborado por Alan Alves Alievi, 2023.

A estruturação do MUVISOLOS ocorrerá em fases, compreendendo: 1) revisão teórica de estudos científicos publicados em livros, periódicos especializados, anais de eventos, entre outros, que abordam os solos do estado do Paraná e, em específico, os que ocorrem na região norte do estado; 2) coleta e organização de amostras deformadas de solos dos municípios que compõe a região norte do estado do Paraná para compor o acervo do museu; 3) organização do site virtual do museu e da exposição didática virtual das amostras coletadas; 4) coleta e organização monólitos de solos dos municípios que compõe a região norte do estado do Paraná para compor o acervo do museu; 5) lançamento e divulgação do museu virtual e publicação de materiais teóricos e didáticos relativos ao MUVISOLOS e 6) catalogação, manutenção e ampliação constante do acervo do museu.

O MUVISOLOS começou a ser estruturado em novembro de 2024 e atualmente, em fevereiro de 2025, encontra-se nas fases de: 1) revisão teórica de estudos científicos que abordam os solos do norte paranaense e 2) coleta e organização de amostras deformadas de solos dos municípios que compõe a região norte do estado do Paraná (Figura 2).

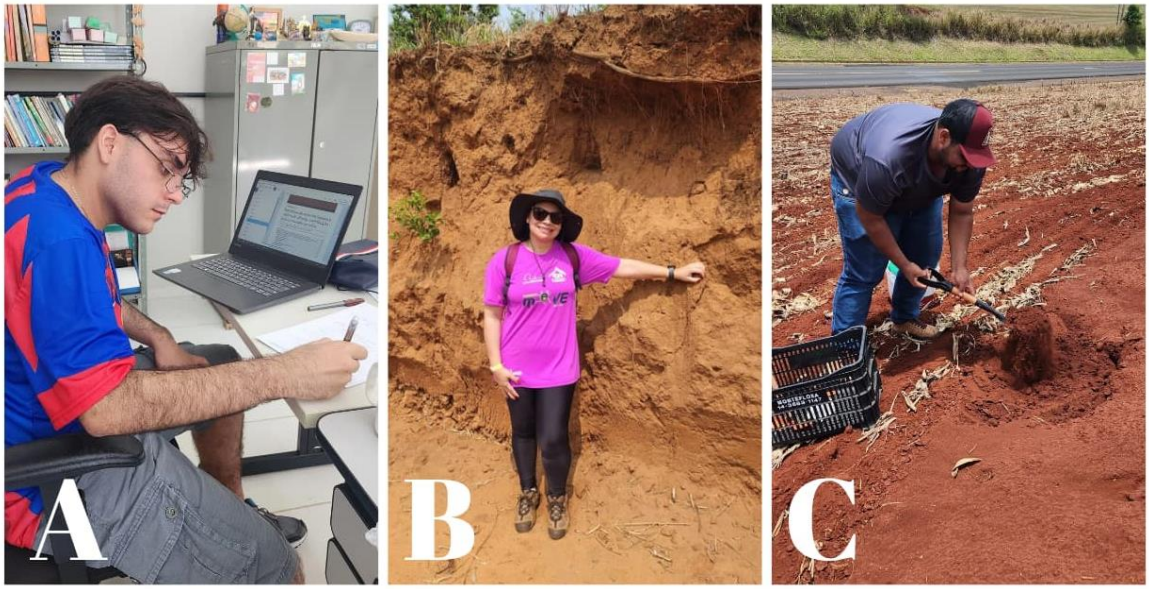


Figura 2. A - Bolsista PIBIT preparando a fundamentação teórica; B - coleta de solo em João Jerônimo da Serra - PR; C - Coleta de solo em Cornélio Procópio – PR. Fonte: Oliveira, 2025.

A equipe do MUVISOLOS é composta por egressos e graduandos do curso de licenciatura em Geografia e o público-alvo do museu compreende toda a comunidade acadêmica e a sociedade no geral.

CONCLUSÕES

Acredita-se que a divulgação da diversidade pedológica presente no território norte paranaense por meio de um museu virtual de solos pode contribuir para a disseminação da importância da preservação e conservação dos solos, bem como do manejo adequado desse elemento natural, sobretudo dos solos presentes no Norte do Paraná.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação pela concessão de bolsa PIBITI.

BIBLIOGRAFIA

CONSELHO INTERNACIONAL DE MUSEUS-ICOM. **Nova definição de museu**. 2022. Disponível em: https://www.icom.org.br/?page_id=2776. Acesso em 02 de fevereiro de 2025.

FREITAS, M. F. L. de. Projeto Solo Vivo: experiências com solos na educação básica. **Divers@**, v. 11, n. 2, p.103-113, 2018.

HENRIQUES. Rosali. Os museus virtuais: conceitos e configurações. **Cadernos de sociomuseologia**. v. 56, n. 12, p. 53-70, 2003.

PROJETO PORTINARI. **Projeto Portinari**. Disponível em: https://www.portinari.org.br. Acesso em 08 de fevereiro de 2025.

LIMA, M. R. de; VEZZANI, F. M.; SILVA, V.; MUGGLER, C. C. (Orgs.). **Iniciativas de educação em solos no Brasil** [recurso eletrônico]. Viçosa, MG: SBCS, 2020a.

LIMA, M. R. de. *et al*. (orgs.). **Teses, dissertações e monografias de educação em solos no Brasil 2020** [recurso eletrônico]. Viçosa, MG: SBCS, 2020b.

MUGGLER, C. C.; TOMA, M. A; PEDRON F. A. Narrativas de solos em museus e centros de ciências: contribuição para a educação em solos. *In:* VEZZANI, F. M., LIMA, M. R., SILVA, V., MUGGLER, C. C. **A Educação em Solos no Brasil**. SBCS, 2022a, v.1: 138-168.

OLIVEIRA, J. G. R.; SILVA, F. C. M.; VENDRAME, P. R. S.; BARBOSA, G. M. C.; OLIVEIRA, J. F.; GUEDES FILHO, O.; RIBEIRO, L. O.; SILVA, A. C.; ALIEVI, A. A. **Conhecendo os solos das mesorregiões Norte Central e Norte Pioneiro do Paraná: Abordagem para educadores do ensino fundamental e médio.** 1. ed., Cornélio Procópio, PR: NEPAR-SBCS, 2024.

PEDRON, F. A., MUGGLER, C. C., TOMA, M. A., DALMOLIN, R. S. D., SEQUINATTO, L. Os museus e a educação em solos. *In:* VEZZANI, F. M., LIMA, M. R., SILVA, V., MUGGLER, C. C. **A Educação em Solos no Brasil**. SBCS, 2022, v.1: p. 112-137.

SILVA, V..; VEZZANI, F. M.; LIMA, M. R.; SILVA, V.; Reflexões sobre a epistemologia da educação em solos. In.: VEZZANI, F. M. *et al*. (orgs.) **Educação em solos**. Viçosa, MG: SBCS, 2022, p. 12-31.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

BIBLIOMETRIA DA PESQUISA EM SAÚDE DO SOLO NA ÚLTIMA DÉCADA

Igor Kieling Severo[1*], Leonir Terezinha Uhde[2], Paulo André Klarmann[1], Cristian Ariel Korb[3], Thiago Naressi[4]
[1]Professor, Sociedade Educacional Três de Maio - SETREM; [2]Professora, Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI; [3]Aluno de mestrado, Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI; [4]Aluno de graduação, Sociedade Educacional Três de Maio - SETREM.
*igor.severo@setrem.com.br

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica da produção científica relacionando a saúde do solo com ambiente agrícola, dos últimos dez anos. A metodologia empregada foi fundamentada em pesquisa bibliométrica elaborada com apoio do pacote de dados bibliometrix através do software RStudio, realizada nas bases de dados Scopus e Web of Science. As palavras chaves utilizadas nas pesquisas foram: “soil” AND “soil healf”. Os resultados foram submetidos à análise bibliográfica na linguagem R. A bibliometria mostrou-se eficiente na busca e análise da produção científica mundial da última década de 2015 a 2025. Possibilitou-se observar a tendência crescente de 3,36% ao ano de trabalhos relacionados ao tema saúde do solo.

PALAVRAS-CHAVE: ecossistema; manejo e conservação do solo; soil health.

INTRODUÇÃO

O solo é o material de superfície que cobre a maior parte da terra, contendo partículas inorgânicas e matéria orgânica e fornecendo suporte estrutural para plantas agrícolas, sendo, portanto, sua fonte de nutrientes e água. A agricultura hoje enfrenta um desafio duplo — por um lado, a necessidade urgente de fornecer alimentos para uma população crescente e, por outro lado, fazê-lo de forma sustentável (Foley *et al*., 2011), sem comprometer o fornecimento de serviços ecossistêmicos pelo solo, como sequestro de carbono, fornecimento de nutrientes e regulação do ciclo da água.

A saúde do solo é o estado do solo em relação à sua capacidade potencial de manter sua produtividade biológica, fortalecer a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais. A agricultura sustentável pode ser definida como uma agricultura que pode ser praticada de forma produtiva e lucrativa sem afetar a saúde do solo (Kibblewhite *et al*., 2008). Os mesmos autores, discutem que, um solo agrícola saudável é “capaz de suportar a produção de alimentos e fibras, a um nível e com uma qualidade suficientes para atender às necessidades humanas, juntamente com a prestação contínua de outros serviços ecossistêmicos que são essenciais para a manutenção da qualidade de vida dos humanos e a conservação da biodiversidade”.

Visando o desenvolvimento sustentável do Planeta Terra, a Organização das Nações Unidas criou a Agenda 2030, onde propôs um plano de ação que objetiva o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015). Propondo assegurar métodos e adequações práticas resilientes, promovendo sistemas agrícolas produtivos e mantendo o equilíbrio ecossistêmico, e por consequência fortalecer a capacidade de adaptação às mudanças climáticas e melhore progressivamente a qualidade do solo. Uma forma de averiguar o que os países vêm desenvolvendo para atender a proposta da Agenda 2030 da ONU, realizando uma análise bibliométrica dos estudos sobre a saúde do solo. Tal análise é baseada no uso de métodos quantitativos e estatísticos, que medem os índices de produção e disseminação do conhecimento científico, desta forma, permitindo ter conhecimento do número de estudos e avaliar as atividades de produção e comunicação científica (Araújo, 2006).

Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica da produção científica relacionando a saúde do solo com ambiente agrícola, dos últimos dez anos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para obtenção de dados que gerou a discussão desta análise bibliométrica foi utilizado a base de dados Scopus e Web of Science. Sendo que os dados resultantes foram pesquisados na língua inglesa, a fim de atingir um cenário global. Os termos foram pesquisados do ano de 2015 até de 2025, sendo aceitos somente artigos, sendo excluídos capítulos de livros, livros, anais de conferências. Ao todo foram encontrados 1709 trabalhos, distribuídos em 1536 arquivos brutos na Scopus e 173 na Web of Science, que após retirada de 10 arquivos duplicados resultaram em 1699 estudos que compõem esta pesquisa de análise bibliométrica. As palavras-chave utilizadas nas pesquisas foram: “soil” AND “soil health”, nas buscas foi refinado o tipo do arquivo e o ano. Todos os termos pesquisados tiveram como objetivo mostrar resultados obtidos quando se pesquisa por saúde no solo em relação ao manejo e conservação do solo.

Cada busca foi exportada ao formato csv, no qual fornece informações dos artigos, tais como: resumo, palavra-chave, citações, informações bibliográficas, entre outras. Estes arquivos foram usados para tratamento e estudo de dados. Para processamento dos dados foi usado a linguagem R através do ambiente de desenvolvimento integrado RStudio, utilizando do pacote bibliometrix (Aria; Cuccurullo, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas últimas décadas, a publicação de artigos sobre saúde do solo vem crescendo significativamente em todo o mundo, refletindo a crescente preocupação com a sustentabilidade agrícola e a conservação do solo (Figura 1). Esse aumento contínuo demonstra o interesse da comunidade científica em compreender melhor os impactos das práticas agrícolas sobre a qualidade do solo e desenvolver estratégias para sua recuperação e manutenção (Batista; Prataviera, 2024). Em 2024, esse crescimento foi particularmente expressivo, atingindo um número recorde de publicações (294), o que pode estar relacionado ao avanço de novas pesquisas, maior financiamento para estudos ambientais e ao aumento da conscientização sobre a importância do solo para a segurança alimentar e o combate às mudanças climáticas (Syrkis *et al*., 2024). No entanto, observa-se uma queda no número de publicações em 2025, o que não indica uma diminuição real na produção científica, mas sim o fato de que o ano ainda está no início, resultando em um número provisoriamente menor de artigos publicados até o momento.

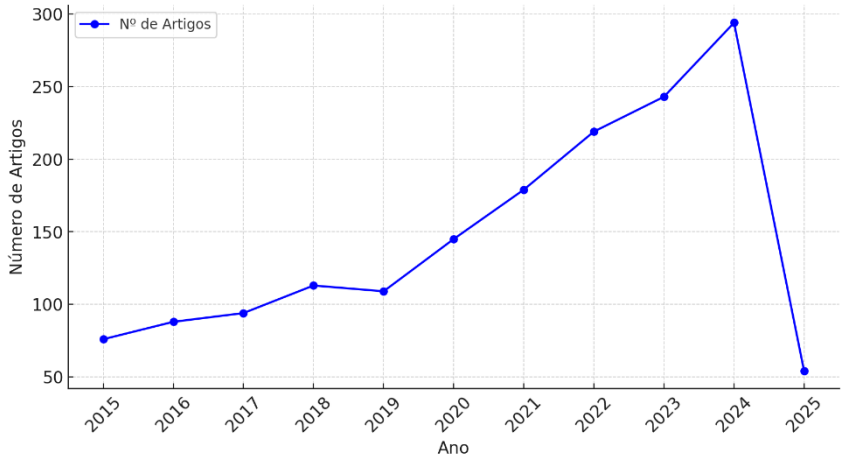


Figura 1. Produção científica anual de estudos sobre saúde do solo na última década.

A análise do número de publicações sobre saúde do solo nos últimos anos revela uma tendência global de crescimento, com destaque para a China, que apresenta um aumento expressivo nas pesquisas (Figura 2). Esse avanço pode estar relacionado ao investimento significativo do país em ciência e tecnologia agrícola, impulsionado pela necessidade de mitigar os impactos da degradação do solo e garantir a segurança

alimentar (Kagzi *et al*., 2024). Países como Brasil, Índia, Estados Unidos e Paquistão também demonstram uma elevação constante no volume de publicações, refletindo um maior engajamento da comunidade científica na busca por soluções sustentáveis para a conservação do solo. O crescimento mais acelerado nos últimos anos pode ser atribuído à intensificação das mudanças climáticas, à adoção de práticas agrícolas regenerativas e ao aumento do financiamento para estudos ambientais (Kabato *et al*., 2025). A ligeira queda observada em 2025 não indica uma redução real na produção científica, mas sim o fato de que o ano ainda está no início, resultando em um número provisoriamente menor de publicações disponíveis.

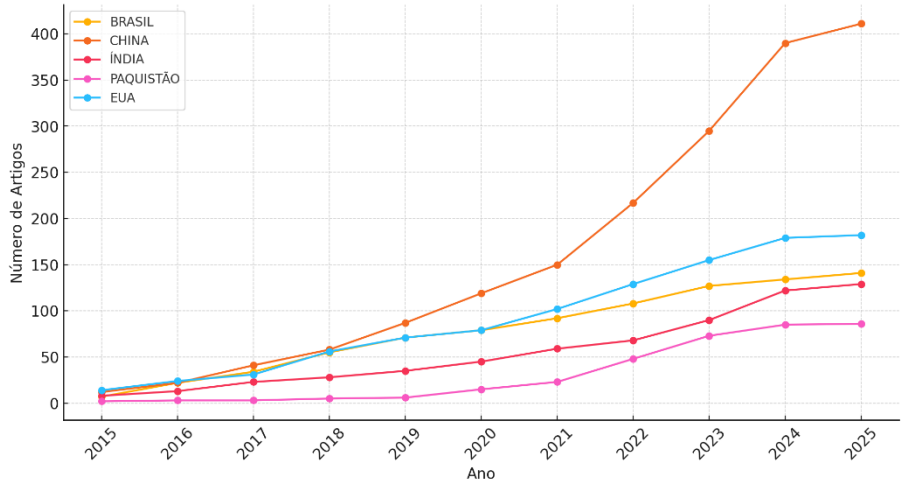


Figura 2. Produção científica dos principais países sobre saúde do solo na última década.

Ao realizar uma busca sobre determinado assunto, verifica-se a relevância da palavra-chave adequada para se torná-la em expressão de busca. Sendo assim, neste estudo, das 50 palavras mais relevantes apresentadas nas Figura 3, quatro delas correspondem a 26% do total de utilizações, sendo elas: solo (11%), artigo (6%), não humano (5%) e avaliação de risco (4%). A sumarização dos dados de pesquisa realizada por meio de análise bibliométrica surge como ferramenta de apoio em diversas áreas do conhecimento (Ribeiro, 2020).



Figura 3. Palavras-chaves mais utilizadas em artigos científicos publicados referentes à saúde do solo.

Deste modo, a nuvem de palavras demonstra a centralidade do solo em um contexto multidisciplinar que abrange a contaminação por metais pesados e outros poluentes, os riscos associados à saúde humana e animal, a importância da microbiologia e biodiversidade do solo, o papel crucial na agricultura e nutrição de plantas, bem como a necessidade de estratégias de remediação e monitoramento ambiental para proteger este recurso vital.

CONCLUSÕES

Considerando a análise bibliométrica que revela um aumento nos estudos sobre saúde do solo (3,36% ao ano) na última década, e em consonância com a crescente produção científica sobre o tema, a saúde do solo emerge como um fator crítico no contexto da sustentabilidade ambiental e da mitigação das mudanças climáticas. A promoção da saúde do solo, portanto, representa uma estratégia fundamental para enfrentar os desafios ambientais globais.

AGRADECIMENTOS

Apoio financeiro ao SICT, às instituições vinculadas ao projeto de solos Unijui, Setrem e Emater. Aos produtores rurais pela disponibilização de suas áreas para a realização do projeto.

BIBLIOGRAFIA

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v.11, n.4, p. 959-975,2017.

ARAÚJO, C. A. V. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

BATISTA, A.; M.; PRATAVIERA, F. Regression models applied to rhizosphere data: A bibliometric review. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 42, n. 3, p. 245-259, 2024.

FOLEY, J.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K.; CASSIDY, E.S.; GERBER, J.S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N.D.; O'CONNELL, C.; RAY, D.K.; WEST, P.C.; *et al*. Solutions for a cultivated planet. **Nature,** v. 478, p. 337–342, 2011.

KABATO, W.; GETNET, G. T.; SINORE, T.; NEMETH, A.; MOLNÁR, Z. Towards Climate-Smart Agriculture: Strategies for Sustainable Agricultural Production, Food Security, and Greenhouse Gas Reduction. **Agronomy**, v. 15, n. 3, p. 565, 2025.

KAGZI, M.; DAGAR, V.; DOYTCH, N.; KRISHNAN, D.; RAJ, M. Curbing environmental degradation to balance sustainable development: Evidence from China. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 24, p. 100465, 2024.

KIBBLEWHITE, M.G.; RITZ, K.; SWIFT, M.J. Soil health in agricultural systems. **Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci**, v. 363, p. 685–701, 2008.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**, 2015.

RIBEIRO, H. C. M. Analisando a colaboração e produção científica da área ensino e pesquisa em Administração e Contabilidade. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 25, n. 2, p. 194–222, jun. 2020.

SYRKIS, G.; W.; WESTIN, F. F.; SIMÕES, A. F., DE MEDEIROS COSTA, H. K. Vulnerabilidades às mudanças climáticas e análise da implementação de medidas de adaptação em estados brasileiros. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 19, n. 56, p. 606-635, 2024.

IX RPCS Reunião Paranaense de Ciência do Solo
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Núcleo Estadual Paraná
UFPR Universidade Federal do Paraná

SOIL AND WATER MANAGEMENT PROSPECTS FOR AGRICULTURE IN UKRAINE

Lyudmyla Kuzmych[1,2,3]
[1] Chief Researcher, Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine; [2] Professor, Kherson State Agrarian and Economic University, Ukraine; [3] Visiting Professor, Federal University of Parana. Email: kuzmychlyudmyla@gmail.com

ABSTRACT

Soil and water management practices are crucial for sustainable agriculture in Ukraine. The country's agricultural sector faces challenges related to soil degradation, water scarcity, and inefficient irrigation systems. Implementing sustainable soil and water management practices can help improve soil health, increase water efficiency, and enhance agricultural productivity. By adopting conservation tillage, crop rotation, cover cropping, and efficient irrigation techniques, Ukrainian farmers can mitigate the negative impacts of soil degradation and water scarcity. Additionally, investing in modern irrigation infrastructure and water-saving technologies can help ensure a reliable water supply for agriculture in Ukraine. Overall, sustainable soil and water management practices hold great potential for improving agricultural productivity and resilience in Ukraine.

KEY WORDS: agricultural water use, irrigation, drainage, agricultural productivity, climate resilience.

INTRODUCTION

Agriculture is a vital sector of Ukraine's economy, contributing around 15% to the national GDP and over 20% to the country's total export value before the full-scale Russian invasion in 2022. Ukraine was a global leader in various agricultural products, ranking first in sunflower oil exports, third in corn, fourth in barley, sixth in soybeans, and seventh in poultry (Kuzmych, 2025a; **Rokochinskiy** et al., 2025).

As of 2022, the State Water Agency of Ukraine reported a total of 5.485 million hectares of reclaimed land, with 2.178 million hectares under irrigation and 3.307 million hectares with drainage infrastructure. This infrastructure includes reservoirs, canals, dams, pumping stations, and drainage systems. However, much of this infrastructure is outdated, with estimates suggesting that around USD 3 billion is needed to fully rehabilitate and upgrade Ukraine's irrigation and drainage systems (Kuzmych et al., 2025).

The Food and Agriculture Organization (FAO) has highlighted the potential for significant improvements in Ukraine's agricultural productivity and export capacity if resources are effectively utilized. However, challenges such as limited natural moisture in most parts of the country, exacerbated by climate change, hinder the sector's full potential.

Market demands drive crop selection in Ukraine, with environmental conditions playing a crucial role in meeting these demands. Climate change has allowed for the cultivation of high-value crops in northern regions but has posed challenges in the south. Recent yield increases have been observed in moisture-rich areas, impacting overall crop productivity in the country (Kuzmych, 2025b).

This study aims to develop strategic approaches to enhance Ukraine's agricultural resource efficiency under changing climate conditions, particularly the increasing moisture deficit. The goal is to ensure food security and improve the sector's export performance to meet evolving market demands.

MATERIAL AND METHODS

Ukraine has a predominantly temperate climate, except for the southern Crimean coast, which has a subtropical Mediterranean climate. The country receives ample solar radiation, especially during the growing

season from May to August. However, changes in precipitation patterns since the 1980s, characterized by hotter summers and reduced rainfall, have negatively impacted crop yields and water resources. This has led to the need for expanded irrigation infrastructure, particularly in the southern regions.

The study integrates agroclimatic, hydrological, and soil data from national reports and peer-reviewed research to analyze water availability and soil moisture dynamics in Ukraine. Figure 1 illustrates the country's elevation profile, agroclimatic zones, and key climate indicators relevant to agriculture.

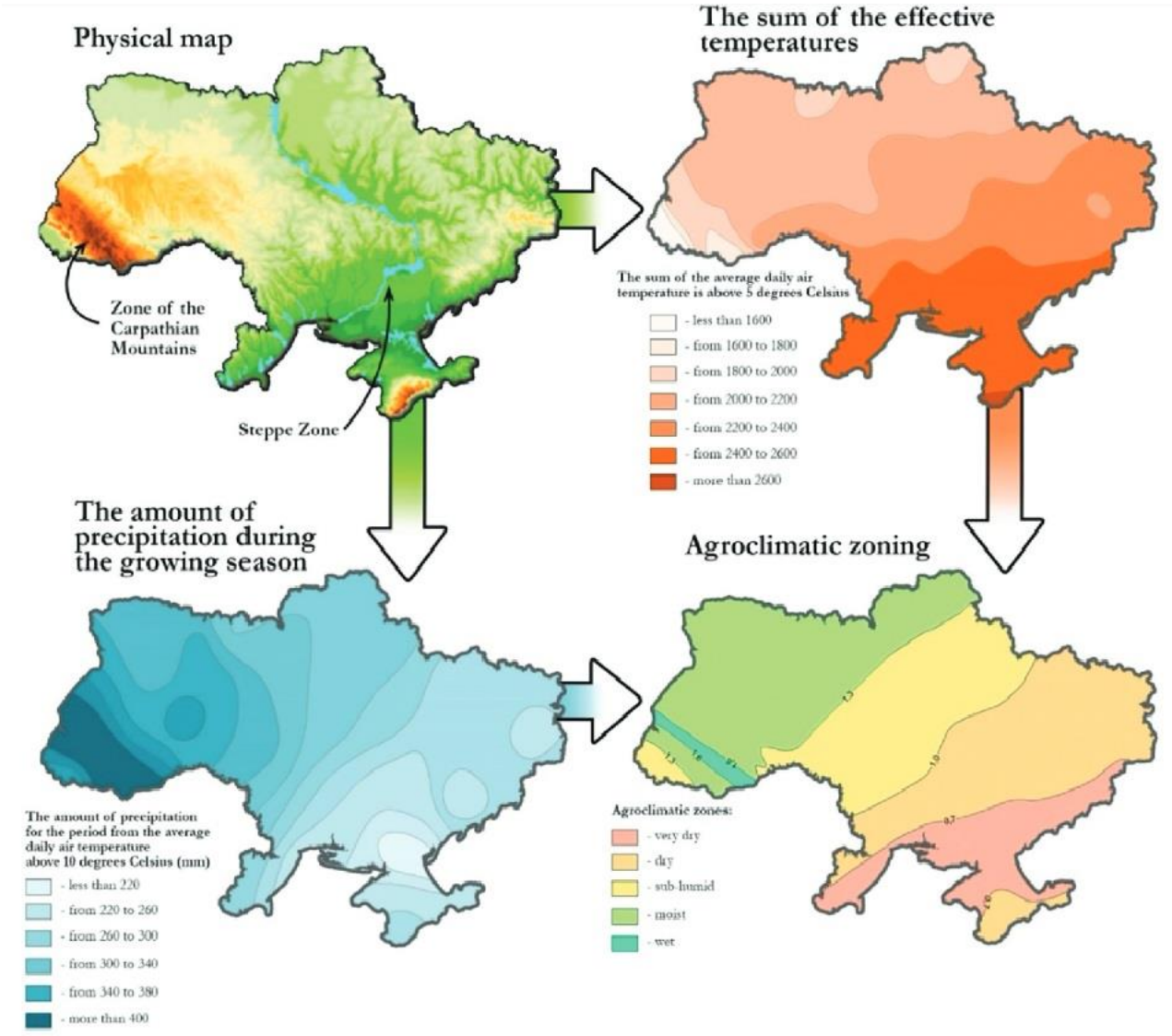


Figure 1. Spatial Analysis of Agroclimatic Factors in Ukraine: Topography, Effective Temperatures, Precipitation, and Zoning. Source: (Romashchenko *et al.*, 2025), https://geomap.land.kiev.ua/index.html. https://geomap.land.kiev.ua/index.html.

In the steppe zone, where annual precipitation meets only half of the evapotranspiration demand, the effects of climate change are significant. Soil moisture deficits have increased by 50 mm in dry zones and 85–95 mm in arid regions since 1990. To compensate for the lack of precipitation, early-season crops require supplemental irrigation ranging from 2400–3800 m³/ha, while late-season crops may need up to 5000 m³/ha to meet 90% of evapotranspiration needs (Afanasyev, 2023).

These water deficits discourage farmers in rainfed systems from adopting high-input technologies, leading to stagnation or decline in crop yields, especially in the fertile chernozem soils of the steppe zone.

To address these challenges, the study evaluates soil and water management practices, focusing on water-saving technologies, optimized irrigation scheduling, and investments in modern infrastructure to adapt to climate-induced moisture deficits and ensure sustainable agricultural productivity.

RESULTS AND DISCUSSION

The Institute of Water Problems and Land Reclamation predicts that the arid zone will expand by the end of the 21st century. This prediction is based on the water balance deficit shown in Figure 2(a), which aligns closely with Köppen-Geiger's dry steppe classification in Figure 2(b). Therefore, climatic forecasts for southern Ukraine clearly indicate the necessity of securing additional water resources for post-war reconstruction in order to sustain previous levels of production (Institute of Water Problems and Land Reclamation, 2025; Romashchenko et al., 2025).

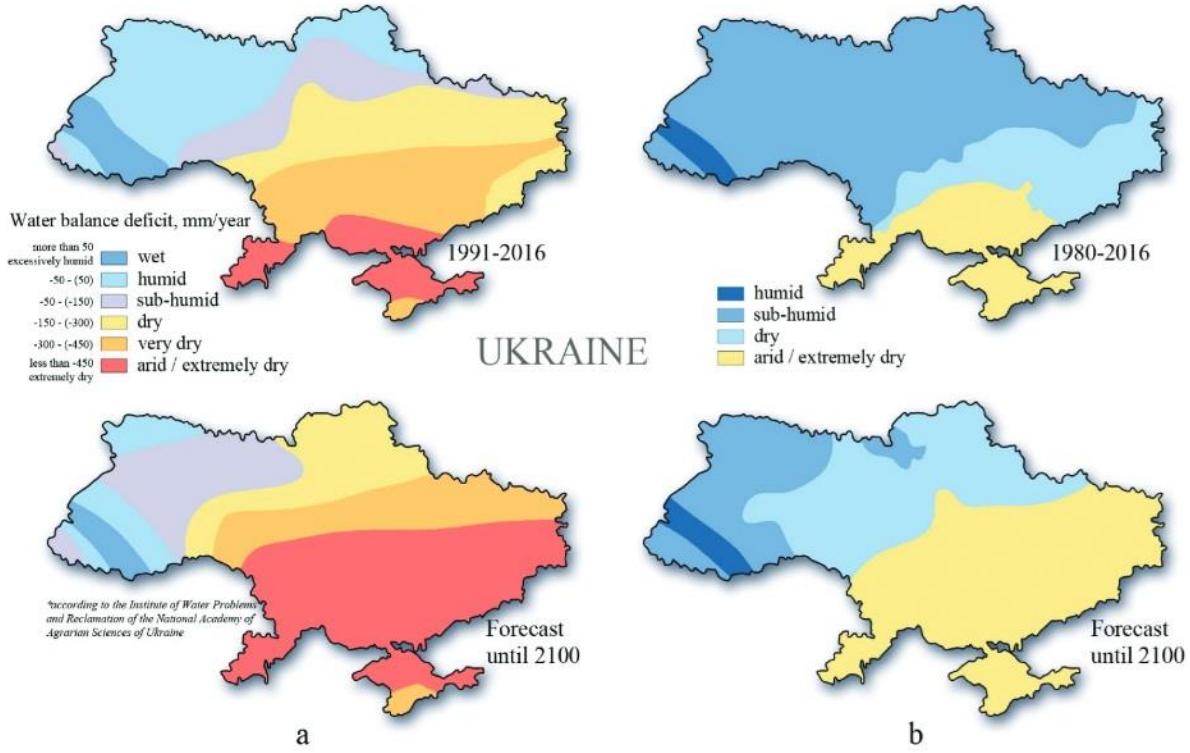


Figure 2. Comparison of the maps of (a) the water balance deficit of Ukraine and (b) the maps of the Köppen-Geiger climate classification for the periods of 1980–2016 and until 2100 (https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification).

In Ukraine, there are six main zones categorized by natural moisture supply: excessively wet (4.5% of the country), wet (30.0%), insufficient wet (16.0%), arid (20.0%), dry (22.0%), and extremely dry (7.5%). From 1991 to 2016, the areas with a significant deficit of natural moisture supply increased by 7%, covering over 29.5% of Ukraine's territory or 11.6 million hectares of arable land. The areas with excessive and sufficient moisture supply decreased by 10%, now occupying only 22.5% or 7.6 million ha of arable land.

By 2050, a temperature increase of 1.24-1.48 ^{0}C is expected, with a potential 8% increase in precipitation. However, the climatic water balance may decrease by 45-115 mm, leading to a deficit in the Steppe zone of up to 560 mm. This could result in 56% of the country facing insufficient moisture supply.

By the end of the 21st century, the average annual temperature may rise by 3.03-3.29 ^{0}C, with precipitation potentially increasing by 11-21%. The water balance may decrease in various regions, leading to a moisture deficit in the south exceeding 700 mm. This could result in 71% of the country facing insufficient moisture supply.

The analysis suggests that arable land with insufficient moisture supply may increase to 67% and 80% in the medium and long term, respectively, while land with sufficient moisture supply may decrease significantly.

To address these challenges, modernization of irrigation and drainage systems, adoption of water-saving technologies, and policy reforms are crucial. The recent Russian invasion and war has further exacerbated the situation, emphasizing the urgent need for resilient water management strategies to ensure food security and rural resilience in Ukraine.

CONCLUSIONS

The future of agriculture in Ukraine critically depends on the sustainable management of soil and water resources. With escalating climate change impacts and the compounded challenges of post-war recovery, modernizing irrigation and drainage systems, adopting water-saving technologies, and implementing adaptive management practices are essential. Strategic investments and policy reforms must prioritize climate resilience, agricultural productivity, and food security. Through integrated, science-based approaches and international collaboration, Ukraine can rebuild a more sustainable and robust agricultural sector.

REFERENCES

KUZMYCH, L. (ed.). (2025a). **Sustainable Soil and Water Management Practices for Agricultural Security.** IGI Global. 662 p. DOI: 10.4018/979-8-3693-8307-0

KUZMYCH, L. (ed.). (2025b). **Balancing Water-Energy-Food Security in the Era of Environmental Change.** IGI Global. 558 p. DOI: 10.4018/979-8-3693-5693-7

KUZMYCH, L. & GOPCHAK, I. (2025). Adaptation of the National Water Policy in Ukraine to the EU Acquis in the Context of European Water Security. *In*: KUZMYCH, L. (ed.). **Balancing Water-Energy-Food Security in the Era of Environmental Change** (pp. 47-60). IGI Global Scientific Publishing. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5693-7.ch003

ROKOCHINSKIY, A.; VOLK, P.; KUZMYCH, L.; KOPTYUK, R.; VOLK, L.; PRYKHODKO, N.; KUZMYCH, A. (2025) Forecast assessment of water regime efficiency and changes in water consumption on drained lands of Western Polissia of Ukraine in a changing climate. **Discov Appl Sci** 7, 6 https://doi.org/10.1007/s42452-024-06412-0

ROMASHCHENKO, M.; FAYBISHENKO, B.; ONOPRIIENKO, D.; HAPICH, H.; NOVITSKYI, R.; DENT, D.; ROUBIK, H. (2025). Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. **Water International**, 50(2), 104–120. https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2472718

AFANASYEV S. (2023). Impact of war on hydroecosystems of Ukraine: Conclusion of the first year of the full-scale invasion of Russia (a review). **Hydrobiological Journal**, 59(4), 3–16. https://doi.org/10.1615/hydrobj.v59.i4.10

Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agricultural Sciences. (2025). https://igim.org.ua/(open in a new window)

LISTA DE AUTORES

LISTA DE AUTORES

Abraão Huang 148, 273
Ademir Calegari 2
Alan Ribeiro da Silva 586, 618, 840
Alberto Carlos de Campos Bernardi 320
Alceu Luiz Assmann 749, 753, 757
Alessandro Cesar Vicente Gois Junior 107, 111
Alessandro Samuel-Rosa 448, 528, 532, 960, 964, 968, 972, 976, 980, 984, 988, 996
Alesson Felipe Movio Lovison 520
Alex Batista Trentin 83
Alexandra Scherer 31
Alexandre Bertoldo da Silva 180, 185
Alexandre Hack Porto 299
Alexandre Leite 541
Aline Beloque Lopes 241, 245
Aline Marchetti Silva Matos 197, 202
Aline Mari Huf dos Reis 968
Aline Marques Genú 281, 477
Alinne Bisolo 444, 853
Amanda Alves Pacheco 285, 372
Amanda Eustachio Pereira 99, 103, 152, 189, 836, 862
Amanda Rodrigues de Medeiros 956
Amanda Serpa Szabo 682
Ana Beatriz Pereira da Silva 948
Ana Caroline Datsch da Silva 976, 980
Ana Caroline Pretto 448, 984
Ana Clara Fermino Fernandes 832
Ana Lhuiza Spindola da Silva 290
Ana Lúcia Londero 465, 554, 870
Ana Luísa Palhano Silva 773
Ana Luiza Brandalise 477
Ana Luiza Sacramento 273
Ana Paula Marés Mikosik 566
Ana Regina Dahlem Ziech 665
Ana Samily de Oliveira Souza 152, 156, 189, 499
Ana Vitória Assis Dalzotto de Oliveira 960, 964
Anabel Alexandra Rodriguez Andachi 193
Anabella Tobler 380
Anderson Sandro da Rocha 992
André Carlos Auler 336, 344, 360, 364, 368, 376, 380, 384, 388, 396, 416, 420, 424, 428, 469, 473, 645, 649, 653
André Luiz de Oliveira de Francisco 269
André Luiz Oliveira de Francisco 2, 160, 168, 491, 495
André Pellegrini 7, 61, 95, 193, 299, 303, 400, 408, 432, 436, 440, 444, 550, 832, 840, 853
Andréa Scaramal da Silva Menoncin 115, 119, 123
Andressa Ciganski 927
Andressa Kerecz Tavares 269
Angelica Lorini 285, 295, 392, 400, 404
Anna Cecília Ferreira Stremel 388, 469, 645, 649, 653
Anny Rosi Mannigel 340, 836, 862, 866
Antonio Augusto Bini 582, 586, 618

Antonio Carlos Saraiva da Costa 902
Antonio Carlos Vargas Motta 823
Any Beatriz Moreira Penteado 984
Arian Martins Sartor 95, 582, 618, 840
Ariane Lentice de Paula 460
Armando Lopes de Brito Filho 708
Arnaldo Colozzi Filho 115, 119, 123, 570
Beatriz Helena Noronha Sales Maia 558
Beatriz Negoseke Lada 724
Betânia Brum de Bortolli 749, 757
Brenda Aparecida Pereira Dias 948
Breynner Gustavo Pavão Bertagnoli 123, 570
Brian Thiago Defert 328, 765
Bruna Lunardon 215
Bruna Ramalho 127, 144, 328, 508, 761, 765, 793
Bruna Stewart 257, 797
Bruna Thalia Silveira Sabino 408, 436, 440, 853
Bruno Antoniolli 75
Bruno Maia Abdo Rahmen Cassim 265
Camila Aparecida da Silva 152, 156
Camila Aparecida Paulin Tessari 65
Carlos Alberto Casali 79, 91, 95, 193, 582, 586, 618, 832, 840
Carlos Eduardo Pellegrino Cerri 412
Carol Zanoli 412
Carolina Dacal de Azevedo 424
Carolina Mocelin Gomes Pires 940
Carolina Paula de Almeida 931
Carolina Weigert Galvão 35, 172
Caroline Amadori 176, 249, 261, 657
Caroline Rusch Schulze 132
Cassieli Lorenzetti 630
Cauã André Conzatti 545, 661
Cezar Augusto Medeiros Rebouças 39, 357
Cidimar Cassol 630
Cimélio Bayer 253, 261
Clandio Medeiros da Silva 700
Claudia Aparecida Guginski-Piva 893
Clovis Roberto Hoffmann 328
Cristian Ariel Korb 1006
Cristiano Andre Pott 27, 281, 285, 295, 307, 311, 372, 392, 400, 404, 456, 545, 827, 848, 882, 886
Dafne Beatriz Alves 520
Damary Andrimar Zadvorne Bueno 428
Daniel Aquino de Borba 412
Daniel Fernando Bariviera 819
Daniele Fernanda Zulian 915
Daniele Vicente Engelhardt Cordeiro 823
Danieli Aparecida Kaminski Zientara 594, 598, 732, 781, 789
Danilo Oliveira de Castro Lima 281, 307, 311
Danilo Rheinheimer dos Santos 7, 550
David Oliveira Pontes 532

Débora Liriel Kerber Kempner 528, 960, 964, 968, 988
Deborah Dick 558
Delara Maryamo Ibraimo Cassamo 532, 972
Delmar Santin 487, 716, 728
Dephiny Victoria de Mello Carneiro 160, 491, 495
Dimas Agostinho 878
Dimas Soares Junior 19
Dinéia Tessaro 75, 79, 83, 87, 91, 95, 193, 832
Diva Souza Andrade 31, 224
Djalma Cesar Clock 890
Douglas Favero 408
Edison Schmidt Filho 857, 862
Edleusa Pereira Seidel 277, 348, 606, 614, 634
Edneia Aparecida de Souza Paccola 99, 103, 111, 152, 156, 189
Edson Lucas Camilo 27, 677, 827, 844, 848, 882, 886
Eduarda Camile de Lima 360, 388, 469, 653
Eduardo Affonso Jung 536
Eduardo Augusto Agnellos Barbosa 43, 47, 57, 452, 460
Eduardo Fávero Caires 890
Eduardo Gracietti 536
Eduardo Henrique Brosso dos Santos 23, 804
Eduardo Luiz Buligon 164, 574, 874, 918
Eduardo Silva Rissardi 482
Élcio dos Santos Backes 299
Elius Regis 176, 249, 261, 657
Elizabete Monteiro Rodrigues Alves dos Santos 148, 273
Elizandra de Oliveira Franco 687, 691, 695
Eliziane Luiza Benedetti 487, 594, 598, 602, 728, 732, 736, 781, 785, 789
Ellen Cristina Perin 52
Ellen Toews Doll Hojo 19
Eloana Janice Bonfleur 15, 336
Emanuel Pasqualotto 757
Emanuele Helmann Nunes 520
Emilia Giustiniani 388, 473
Emmeline Veiga Mattos 420
Enrike Becker Araujo 61, 303
Érica Letícia Junges 911
Éricles Leonardo dos Santos 57, 460
Erivelo Folhato Tolfo 87
Esmailson Moreira dos Santos 39, 357
Evandro Antonio Minato 265
Evelyn Joslin Mendes 823
Fabiana Luiza Matielo de Paula 432, 436, 440, 444
Fabiane Machado Vezzani 140
Fabiola Ingrid Gabrieli Sessi Lopes 749
Fabrício Tondello Barbosa 43, 47, 57, 352, 452, 460
Fabricio William de Ávila 740, 744
Fátima Motelewski 590
Felipe Bonini da Luz 315
Felipe do Casal de Paula 164, 574, 874, 918

Felipe Pellegrini Müller 769
Felipe Youssef Abboud 562
Fernanda Midori 15
Fernanda Pelentier 241, 245
Fernando Kappes 207, 233
Fernando Marcos Brignoli 808, 815
Filipe Behrends Kraemer 380
Flavia Cristina Diniz Panizzon 295
Flávio Augusto de Souza Lourenço 922
Franciele Alba 215, 524
Franciele de Oliveira 31
Franciele Morlin Carneiro 708
Francielli Gasparotto 99, 103, 107, 111, 152, 156, 189, 836
Gabriel Barth 324, 482, 508, 562, 566, 590, 878
Gabriel Bressiani Deves 893
Gabriel dos Santos da Cruz 336
Gabriel Michalichen 61, 303
Gabriel Zimmermann 536
Gabriela Machineki Silva 812
Gabriela Machineski da Silva 290, 622, 897
Gabriela Rossi 976, 980
Gabriela Vargas Schmoller 638, 642, 801
Gabrieli Stefani Ferreira Dos Santos 665
Gabrielli Tuni Adami 75
Geovana Beatriz Mandriki 626, 638, 642, 801
Geovane Figueiredo Ferreira 99, 103
Geovanna Eliza Kolze Rodrigues 708
Giorgia Ribeiro Graciano 376
Giovana Costa Terezan 290
Giovana de Jesus Gomes 622
Giovanna Carvalho 315
Giulia Karolline Kaminski 512
Glaciela Kaschuk 132, 180, 185, 211, 219, 237
Graciela Maiara Dalastra 578
Gracieli Fernandes 7, 550
Graziela Capelettii 408, 440
Graziela Moraes de Cesare Barbosa 103, 115, 123, 400, 456, 465, 504, 554, 570, 870
Guilherme Adrião Lomba 219, 237
Guilherme Attila Ribeiro Sárkány 532, 972
Guilherme de Souza Sotsek 344, 360, 364, 388, 396, 428, 469, 473, 653
Guilherme Felipe Costa Ferreira 812
Guilherme Gabriel Massola 704
Guilherme Ishii Neves 340, 862
Guilherme Ramos Santos 638, 801
Guilherme Sanvesso de Paula 687, 691
Guilherme Strapassoni de Souza 952
Gustavo Brunetto 704
Gustavo Felipe Ribeiro Melo 452
Gustavo Ferreira Coelho 7, 550
Gustavo Henrique Merten 456

Gustavo Kenji Matsuzawa 785
Gustavo Lechinhoski Zarur 793
Gustavo Pereira Valani 320
Gustavo Strapassoni 952
Haydee Steinbach 380
Heder Asdrubal Montañez Valencia 224
Heila Silva de Araújo Alencar 211, 219
Helen Cristina Cunico 562
Helio Antonio Wood Joris 508
Helio Henrique Soares Franco 340, 866
Hellen Cristina Palinski 79, 91
Helmo Santos Pires 935
Heloisa Barboza Pereira 473
Heloísa da Silva Baldinotti 211
Henrique Almeida Santos Ducheiko 253, 257, 797
Henrique Martins Dantas 602
Henrique von Hertwig Bittencourt 669
Heverton Fernando Melo 43, 352, 452
Higo Forlan Amaral 224
Horácio Manfrim Mazero 424
Igor Kieling Severo 1006
Inês Fumiko Ubukata Yada 224
Isabelle Caroline de Almeida Stefanczak 890
Isabelle Ferreira de Freitas 144
Ivan Bordin 119
Ivar Wendling 712, 716, 720
Jackson Kawakami 677
Jackson Tavela da Silva 777
Jair Augusto Zanon 136
Jairo Calderari de Oliveira Junior 940, 944
Jamily Micheli Pontes 215
Janaina Dartora 700, 753
Janaína Dartora 2
Janaina Gabriela Larsen 136
Jean Alex dos Santos 384
Jean Carlos Zocche 677
Jean Evens Alcinat 189, 836, 866
Jeferson Dieckow 70, 253, 257, 508, 797
Jeferson Kviatkoski 761, 765
Jeizi Kelli Cerutti Candeu 720, 878
Jesiane Stefânia Silva Batista 211
Jéssica Camile da Silva 79, 91
Jéssica Caroline de Lima 164, 574, 874, 918
Jéssica Fernandes Kasefer 7, 550
Jéssica Maria Ceronato 645, 649
Jessica Maria Moreira dos Santos 420
Jéssica Vanessa Wosco Correa 695
Jhonny Steffen 915
João Antônio da Silva 115, 570
João Gabriel Ferreira 819

João Henrique Silva da Luz 176
João Paulo Borsatti 753
João Paulo Vieira dos Santos 499, 922
João Pedro Chacon Pereira 897
João Pedro de Barros Leinecker 566
João Pedro Fraiz Reis 315
João Pedro Griczinski Sikora 669
João Pedro Matoso Martins 352
João Pedro Pena Jezualdo 156, 857
João Roberto Navarro 140
João Tavares Filho 290, 520, 622, 812, 897
João Victor Marçal Fernandes 320
João Vitor Dellê 661
João Vitor Yamanaka Bonatto 79, 83, 87
Joel Donazzolo 75
Joice Mari Assmann 700, 753
Joice Maria Assmann 2
Jonas de Souza Borges 340, 866
Jonatas Thiago Piva 241, 245, 893
Jonatha Julio Cancelier 436, 444
Jonathan Eduardo Ferreira Antonovicz 781
José Aridiano de Deus 19
José Carlos Romanchuk 487, 598, 728, 732, 736, 781, 785, 789
José Francirlei de Oliveira 115, 123, 456, 465, 504, 554, 570, 870
José Rafael Vilela da Silva 1000
José Ricardo Macedo Pezzopane 320
Josiane Burkner dos Santos 19, 160, 168, 491, 495, 700
Josiane Cristina de Assis Aliança 890
Josileia Acordi Zanatta 70, 215, 253, 487, 512, 736
Júlia Amélia Vivian Pinto 893
Julia Maria Longo 638, 642, 801
Juliane Almeida Battisti 164, 574, 874, 918
Juliane Regina Becker 992
Júlio Teixeira Brita 384
Jully Gabriela Retzlaf de Oliveira 1000
Kaline Aparecida Wagner 324, 344, 720
Karin Kamila Birck Lopes de Matos 740, 744
Karina Maria Vieira Cavalieri-Polizeli 65, 324
Kathlen Neres da Cunha 241, 245
Katia Cylene Lombardi 740, 744
Kauane Victória Szemocoviaki 35, 172
Kauanna Brok Ferreira Pepe 132
Kauanna Trindade Vieira Riberski 508
Keila Padilha de Oliveira Camargo de Lima 504, 554, 870
Kerolaine Woitchik 558, 940
Ketlyn Luiza Dickel Cseh 952
Kleber Henrique Cabrini Junior 127, 144, 328, 761, 765, 793
Krisle da Silva 132, 215
Laércio Ricardo Sartor 176, 249, 261, 657, 819
Lahura Ignes Giongo 757

Larissa Macedo dos Santos Tonial 52
Larissa Marques Wirgues 695
Laura Cristiane Nascimento de Freitas 70, 253, 524
Laura Ignes Giongo 769
Laura Vitória Dos Anjos Fucilini 95
Leandro Bittencourt de Oliveira 65, 315
Leandro Liebel 594
Leandro Rampim 27, 281, 307, 311, 541, 545, 661, 844, 848, 931
Leandro Roberto da Cruz 789
Leonardo Catapan 687, 844
Leonardo de Marino Treml 136
Leonardo Debiasi 176
Leonel Kovalski 915
Leonir Terezinha Uhde 1006
Lethicia Bueno da Silva 35, 172
Letícia de Pierri 148, 273, 682
Lincon Stefanello 704, 708
Lisiane Sobucki 968
Liza Macedo Lopes 11
Luana Maria dos Santos Czaja 793
Luane Laíse Oliveira Ribeiro 348, 606, 614, 634
Lucas da Silva Domingues 87
Lucas Gabriel Fiabane 249, 657, 819
Lucas Hiroshi Suguiura 23, 804, 808, 815
Lucas Mayer Malheiros 773
Lucas Pereira Scheidt Feltz 168, 491, 495
Lucia Tiemi Naves Yamashita 804
Lúcia Tiemi Naves Yamashita 265, 808, 815
Luciana do Prado Silva 956
Luciana Grange 207, 233, 956
Luciane Lemos do Prado 482, 558
Luciano Farinha Watzlawick 931
Luciano Grillo Gil 777
Luís César Cassol 749, 769
Luís Eduardo Nacle David 360, 368
Luis Fernando Cipriano Alves Pereira 23
Luis Miguel Schiebelbein 47
Luiz Felipe Cintra 992
Luiz Henrique Campos de Almeida 812, 897
Luiz Henrique Grando 657
Luiza Farber Maier 665
Lutécia Beatriz dos Santos Canalli 2, 160, 168
Lygia de Oliveira Ribeiro 1000
Lyudmyla Kuzmych 1010
Maicon Reginatto 626, 630
Manoela Mendes Duarte 720
Marcela Vágula Gomes Baffa Clavero 265, 804, 808, 815
Marcelo Andreotti 197, 202
Marcelo Augusto Batista 23, 265, 804, 808, 815
Marcelo Marques Lopes Müller 27, 311, 610, 661, 677, 687, 691, 695, 827, 844, 848, 882, 886

Marcelo Ricardo de Lima 948
Marcelo Trybek 412
Marcia Toffani Simão Soares 712, 716, 724, 915
Marcia Vargas Toledo 19
Marco Antonio Bacellar Barreiros 207, 233, 956
Marcos Antonio Dolinski 127, 144, 761, 765, 793
Marcos Augusto Schinda 127
Marcos Cesar Mottin 614
Marcos Silveira Wrege 724
Marcos Vinícius Souza Cardoso 448, 984
Maria Aparecida de Matos 31, 119, 224
Maria Cristina Longo Camargo 836
Maria de Carvalho Santos 15
Maria do Carmo Lana 634
Maria Eduarda Braga Zirondi 99
Maria Eduarda Paulino de Almeida 15
Maria Ellem Alves Bezerra 241, 245
Maria Vitoria Sovrani 285, 295, 372, 392
Mariana dos Santos Alves 893
Marie Luise Carolina Bartz 132
Marina Ukan Halama 257, 797
Mateus Felipe Berra 61, 303
Mateus Marchesan Pires 952
Matheus Bortolote 582, 586, 618, 832, 840
Maurício Hendrikus Salomons 545
Maurício Roberto Cherubin 332, 516
Max Sander Souto 578
Mayara Scibor 328
Mayara Scibor Amaral 127, 144, 761
Mayra Taniely Ribeiro Abade 606
Mickael Peron 578
Miguel Cooper 320
Miguel David Fuentes-Guevara 281, 285, 372, 392, 404, 456
Miguel Ribeiro de Castro da Silva 180
Milena Santos de Oliveira 160, 168, 491, 495
Miriam Fernanda Rodrigues 61, 299, 303, 432, 444, 853
Moacir Zornita Junior 545, 661
Monica Carolina Sustakowski 606, 614, 634
Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa 164, 574, 874, 918
Murilo Francisco Travençoli Rossetim 219
Murilo Girolimetto Kohler 487, 594, 598, 602, 785, 789
Murilo Henrique Gregório 408
Naiane Antunes Alves Ribeiro 197, 202
Nelson Câmara de Souza Júnior 197, 202
Nerilde Favaretto 11, 482, 558, 562, 566, 590, 827
Neyde Fabíola Balarezo Giarola 35, 43, 47, 57, 172, 400, 452, 460
Nicole Gelinski de Sousa 75, 83, 91
Nicoly Leticia Seghetto Bolino 65
Niuziele Franco Tremarin 269
Norma Kiyota 700

Orivaldo José Saggin Júnior 740, 744
Paloma Estefane Santana Ferreira 482, 562
Patricia Juana Colmán Ribelatto 348
Paula Raquel Reffatti 436, 440, 853
Paulo André Klarmann 1006
Paulo Cesar Conceição 83, 626, 630, 638, 642, 665, 801
Paulo Fernando Adami 87
Paulo Wesley Czanoski 392, 404
Pedro Barth 960, 964
Pedro Guilherme Staniski 682
Pedro Gustavo Aureliano De Queiroz 1000
Pedro Henrique Stoeberl 773
Pedro Hermínio Delázari Bueno Donini 277
Pedro Ruben Viera Fariña 360, 364, 368, 376, 380
Pergentino Luiz De Bortoli Neto 878
Priscila Schmidt Stelle 886
Querolem Maria de Jesus 364, 473, 649
Rachel Muylaert Locks Guimarães 39, 357
Rafael Braghieri Menillo 332, 516
Rafael Egea Sanches 107, 857, 862
Rafael Felipe Mathias 499, 922
Rafael Ferreira El Memari 340, 866
Rafael Hennel Tulio 211
Rafael Mazer Etto 35, 172
Raissa Santos Mascarenhas 935
Raíssa Schwalbert 704, 708
Raphael Antoine Anzalone 11
Rayane de Castro Marzola 107, 111
Rayla Menezes D'Epiro 812, 897
Regiane Kazmierczak Becker 460
Renan Geremia 432
Renan Prado Rodrigues 504
Renata Alessandra Martins Borecki 827, 844, 848, 882, 886
Renato Marques 136, 140
Renato Paiva de Lima 332, 516
Renato Vasconcelos Botelho 695
Renato Yagi 269, 669
Rhaiany Vitoria Oliveira Alemida 536
Rhaiany Vitoria Oliveira Almeida 645
Ricardo Kwiatkowski Silva 47
Roberta de Morais Mendes 396, 420
Roberta do Nascimento Fernandes 622
Roberta Morais Mendes 364, 368, 376, 416, 424, 428
Roberto de França 307
Robiane Dalzoto 610
Robson Alexandre Opolis 669
Rodrigo Camargo de Castro 773
Rodrigo Golembiouski Amaral 43
Rodrigo Pengo 412
Rodrigo Roani 416

Rodrigo Zientara 594, 598, 602, 728, 732, 736
Ronaldo Hissayuki Hojo 119
Samienta Charles 39, 357
Samir Paulo Jasper 536
Sandro Luciano Barreto Fensterseifer 911, 927
Sandy Laira Pivetta 956
Santos Henrique Brant Dias 499, 857, 922
Sara Ferreira Orides 610, 687, 691
Shirley Grazieli da Silva Nascimento 948
Shizuo Maeda 915
Silvio Duarte da Luz 465
Simone Cristina Loures 541
Sofia Kerniski Hupalo 295, 372
Stefanie do Prado da Silva 332, 516
Stéphanie Abisag Sáez Meyer Piazza 499, 922
Stephanie dos Santos Locatelli 290, 520, 622
Suelen Farias 257, 797
Taciara Zborowski Horst 448, 528, 532, 960, 968, 972, 976, 980, 984, 988, 996
Tadeu Takeyoshi Inoue 23
Tamires Souza Caires 935
Tangriani Simioni Assmann 749, 753, 757
Tatiane Conceição Moreira da Silva 890
Thais Regina Cavazzini 261
Thais Saidel Schultz Andretta Lima 724
Thais Szczepanik 744
Thalia Alves Ferreira 944
Thiago Naressi 1006
Thomas Jeferson Gulhotti 269
Tiago Ferreira de Souza 1000
Tiago Kiszka Horodecki 665
Tiago Rui Gois 52
Tiago Santos Telles 31
Vanda Moreira Martins 952
Vander de Freitas Melo 336
Vanderley Porfirio da Silva 512
Vanessa Bresolin Viero 193, 582, 586
Vanessa Coan Bittercourt 424
Vanessa Gonçalves Aisawa 504, 554, 870
Vanessa Silva Romanoski 65
Vicente Felipe Cordeiro dos Santos 541, 931
Victoria Koszalka 610
Victoria Riker Carneiro 368, 376
Vilmara Aparecida Santos da Costa 602, 728, 732, 736, 781, 785
Vinícius Charnecki Galvão 712, 716
Vinícius Zanlorenzi 677, 691
Vinicius Zucchi Lovatto 769
Virginia Carolina Aparício 7
Vitor Antônio Araldi Faccin 207
Vitor Eduardo Heydt Sachser 704
Vitor Hugo Outeiro 27, 307, 311, 931

Vitor Peruzzi de Almeida 528, 960, 964, 988
Vitória Almeida Moreira Girardi 197, 202
Vivian Carré Missio 207, 233
Volnei Pauletti 712, 716, 720, 878
Wander da Silva Ferreira Raboni 299, 432
Willian dos Reis 606, 614, 634
Willyan Elizeu Valentim 669
Wilmar Ferreira Lima 777
Yanka Rocha Kondo 237
Yasmim Christine Conrado Barbieri 610, 882
Yasmin Blauzius 273
Yris Ayumi Toyotani Camacho 107, 111
Yuri Gabriel Zevericoski 541
Zigomar Menezes de Souza 332, 516

Realização:



Organização:



Patrocínio:



ISBN: 978-8-56914-611-7