

**Leonardo Tullio
(Organizador)**

**CARACTERÍSTICAS DOS
SOLOS E SUA INTERAÇÃO
COM AS PLANTAS**

Atena
Editora
Ano 2019

Leonardo Tullio
(Organizador)

Características dos Solos e sua Interação com as Plantas

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C257 Características dos solos e sua interação com as plantas [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-185-5

DOI 10.22533/at.ed.855191403

1. Ciência do solo. 2. Solos e nutrição de plantas. 3. Solos – Pesquisa – Brasil. I. Tullio, Leonardo.

CDD 625.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Características dos solos e sua interação com as plantas” aborda uma apresentação de 18 capítulos, no qual os autores tratam as mais recentes e inovadoras pesquisas voltadas para a área da Ciência do Solo.

O envolvimento das plantas com o solo requer conhecimento técnico de alto nível, pois a interação Solo – Planta – Ambiente é sem dúvida um universo complexo de informações e resultados que são influenciados por vários agentes externos e internos e que respondem no potencial produtivo de uma cultura. Entretanto, essa interação exige modelagem de dados que muitas vezes são inacabáveis, fazendo assim estimativas conforme os parâmetros estudados.

Porém, com a pesquisa voltada cada vez mais para o estudo do ambiente como um complexo sistema de produção, torna-se favorável para conhecer mais sobre os processos químicos, físicos e biológicos envolvidos no solo e na planta.

Assim, o conhecimento da relação Solo - Planta é fundamental para o entendimento desse sistema de produção, no qual a sua interação com as diversas características define seu potencial.

Por fim, espero que esta obra atenda a demanda por conhecimento técnico de qualidade e que novas pesquisas surjam neste contexto.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
CLASSIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO QUANTO À RESPOSTA E EFICIÊNCIA NO USO DO POTÁSSIO	
<i>Lucas Carneiro Maciel</i>	
<i>Weder Ferreira dos Santos</i>	
<i>Rafael Marcelino da Silva</i>	
<i>Layanni Ferreira Sodré</i>	
<i>Eduardo Tranqueira da Silva</i>	
<i>Fernando Assis de Assunção</i>	
<i>Lázaro Tavares da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8551914031	
CAPÍTULO 2	8
DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE NEOSSOLOS E SUAS RELAÇÕES COM A GEOMORFOLOGIA DE UMA CATENA DO PAMPA	
<i>Daniel Nunes Krum</i>	
<i>Julio César Wincher Soares</i>	
<i>Lucas Nascimento Brum</i>	
<i>Jéssica Santi Boff</i>	
<i>Higor Machado de Freitas</i>	
<i>Pedro Maurício Santos dos Santos</i>	
<i>Gabriel Rebelato Machado</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8551914032	
CAPÍTULO 3	21
EFEITOS DAS FORMAS DE MANEJO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO TÍPICO EM DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS	
<i>Valéria Escaio Bubans</i>	
<i>Adriano Udich Bester</i>	
<i>Murilo Hedlund da Silva</i>	
<i>Tagliane Eloíse Walker</i>	
<i>Leonir Terezinha Uhde</i>	
<i>Cleusa Adriane Menegassi Bianchi</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8551914033	
CAPÍTULO 4	28
EFFECTS OF SOIL, SPATIAL PARAMETERS AND FOLIAR PHENOLIC CONTENTS ON ENTOMOFAUNA VARIABILITY IN PEQUIZEIRO	
<i>Deomar Plácido da Costa</i>	
<i>Gislene Auxiliadora Ferreira</i>	
<i>Suzana Costa Santos</i>	
<i>Pedro Henrique Ferri</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8551914034	
CAPÍTULO 5	43
EFICIÊNCIA DE AQUISIÇÃO DE NUTRIENTES DO CAPIM-TIFTON 85 ADUBADO COM DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS	
<i>Alexandra de Paiva Soares</i>	
<i>Oscarlina Lúcia dos Santos Weber</i>	
<i>Cristiane Ramos Vieira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8551914035	

CAPÍTULO 6 47

ESTRATÉGIA NA SELEÇÃO DE MILHO QUANTO A EFICIÊNCIA AO NITROGÊNIO NO ESTADO DO PARÁ SAFRA 2017/2018

Weder Ferreira dos Santos
Elias Cunha de Faria
Layanni Ferreira Sodré
Rafael Marcelino da Silva
Eduardo Tranqueira da Silva
Fernando Assis de Assunção
Lázaro Tavares da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8551914036

CAPÍTULO 7 54

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA ESTRUTURA DE NEOSSOLOS, APÓS A INSERÇÃO DA CULTURA DA SOJA, COM PREPARO CONVENCIONAL

Lucas Nascimento Brum
Julio César Wincher Soares
Daniel Nunes Krum
Jéssica Santi Boff
Higor Machado de Freitas
Pedro Maurício Santos dos Santos
Vitória Silva Coimbra
Matheus Ribeiro Gorski
Thaynan Hentz de Lima

DOI 10.22533/at.ed.8551914037

CAPÍTULO 8 65

ÍNDICE DE ESTRATIFICAÇÃO DE CARBONO EM ÁREAS DE EXPANSÃO DA AGRICULTURA NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Nádia Goergen
Felipe Bonini da Luz
Ijésica Luana Streck
Marcos André Bonini Pires
Jovani de Oliveira Demarco
Vanderlei Rodrigues da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8551914038

CAPÍTULO 9 74

NUTRITIONAL AND PHENOLOGICAL INFLUENCE IN ESSENTIAL OILS OF *Eugenia dysenterica* ("CAGAITEIRA")

Yanuzi Mara Vargas Camilo
Eudécio Bonfim dos Santos Dias
Eli Regina Barboza de Souza
Suzana Costa Santos
José Realino de Paula
Pedro Henrique Ferri

DOI 10.22533/at.ed.8551914039

CAPÍTULO 10 88

QUIMIOVARIAÇÕES EM CASCAS E SEMENTES DE JABUTICABAS EM FUNÇÃO DOS NUTRIENTES DO SOLO DE CULTIVO DOS FRUTOS

Gustavo Amorim Santos
Luciane Dias Pereira
Suzana da Costa Santos

Pedro Henrique Ferri

DOI 10.22533/at.ed.85519140310

CAPÍTULO 11 103

RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO SOBRE EFEITO DE INOCULAÇÃO EM DIFERENTES DOSAGENS DE NITROGÊNIO

Leandro dos Santos Barbosa

Fernando Zuchello

Paula Fernanda Chaves Soares

DOI 10.22533/at.ed.85519140311

CAPÍTULO 12 112

SOLUÇÕES CONSERVANTES EM ARMADILHAS *PITFALL TRAPS* PARA CAPTURA DA FAUNA EPIEDÁFICA

Ketrin Lohrayne Kubiak

Dinéia Tessaro

Jéssica Camile Silva

Luis Felipe Wille Zarzycki

Karina Gabrielle Resges Orives

Regiane Franco Vargas

Maritânia Santos

Bruno Mikael Bondezan Pinto

DOI 10.22533/at.ed.85519140312

CAPÍTULO 13 127

USO DE COVARIÁVEIS AMBIENTAIS PARA A PREDIÇÃO ESPACIAL DO CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

Nícolás Augusto Rosin

Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Jean Michel Moura-Bueno

Taciara Zborowski Horst

João Pedro Moro Flores

Diego José Gris

DOI 10.22533/at.ed.85519140313

CAPÍTULO 14 136

USO DO BIOATIVADOR DE SOLO E PLANTA NA CULTURA DO MILHO SEGUNDA SAFRA

Cláudia Fabiana Alves Rezende

Rodrigo Caixeta Pinheiro

Jéssica de Lima Pereira

Carlos Henrique Melo

Thiago Rodrigues Ramos Farias

João Maurício Fernandes Souza

DOI 10.22533/at.ed.85519140314

CAPÍTULO 15 148

UTILIZAÇÃO DE PSEUDO-AMOSTRAGEM NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO POLÉSINE-RS UTILIZANDO FLORESTA ALEATÓRIA

Daniely Vaz Rodrigues da Silva

Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Jéssica Rafaela da Costa

Jean Michel Moura-Bueno

Cândida Regina Müller

Beatriz Wardzinski Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.855191403

CAPÍTULO 16 156

VARIABILIDADE E CORRELAÇÕES ESPACIAIS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE NEOSSOLOS, SOB CULTIVO MÍNIMO, NUMA CATENA DO PAMPA

Jéssica Santi Boff

Julio César Wincher Soares

Claiton Ruviano

Kauã Ereno Fumaco

Daniel Nunes Krum

Pedro Maurício Santos dos Santos

Higor Machado de Freitas

Lucas Nascimento Brum

Vitória Silva Coimbra

DOI 10.22533/at.ed.85519140316

CAPÍTULO 17 168

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA MATÉRIA ORGÂNICA, FÓSFORO E POTÁSSIO DE NEOSSOLOS, APÓS A INSERÇÃO DA CULTURA DA SOJA, COM PREPARO CONVENCIONAL

Higor Machado de Freitas

Julio César Wincher Soares

Pedro Maurício Santos dos Santos

Daniel Nunes Krum

Lucas Nascimento Brum

Jéssica Santi Boff

Matheus Ribeiro Gorski

Thaynan Hentz de Lima

DOI 10.22533/at.ed.85519140317

SOBRE O ORGANIZADOR..... 176

CLASSIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO QUANTO À RESPOSTA E EFICIÊNCIA NO USO DO POTÁSSIO

Lucas Carneiro Maciel

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

Weder Ferreira dos Santos

Universidade Federal do Tocantins, Engenharia de
Bioprocessos e Biotecnologia
Gurupi – TO

Rafael Marcelino da Silva

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

Layanni Ferreira Sodré

Universidade Federal do Tocantins, Licenciatura
em Química
Gurupi – TO

Eduardo Tranqueira da Silva

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

Fernando Assis de Assun o

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

Lázaro Tavares da Silva

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo classificar genótipos de milho quanto a sua eficiência no uso e resposta aplica o de potássio, para a produ o de grãos, utilizando a metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980). Foram conduzidos dois ensaios de

genótipos de milho em Gurupi – TO, o primeiro em baixa disponibilidade de potássio (BK) e o segundo em alta disponibilidade de potássio (AK). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repeti es e 7 tratamentos. Para classificar os genótipos quanto   eficiência e resposta foi utilizada a metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980). O genótipo G2 foi classificado como eficiente no uso e responsivos a aplica o de potássio.

PALAVRAS-CHAVE: aduba o, estresse mineral, *Zea mays*.

ABSTRACT: The objective of this work was to classify maize genotypes for their efficiency in the use and response of potassium application to grain production using the methodology of Fageria & Kluthcouski (1980). Two trials of corn genotypes were conducted in Gurupi - TO, the first in low potassium availability (BK) and the second in high availability of potassium (AK). The experimental design was a randomized block design with three replicates and seven treatments. In order to classify genotypes for efficiency and response, the methodology of Fageria & Kluthcouski (1980) was used. The genotype G2 was classified as efficient in use and responsive to the application of potassium.

KEYWORDS: fertilizing, mineral stress, *Zea mays*.

1 | INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo. Se destaca por sua versatilidade, é utilizado tanto na alimentação humana e animal como na indústria. Junto com soja são os ingredientes principais para fabricação de ração para aves e suínos (GARCIA et al., 2006; REGITANO-D'ARCE et al., 2015).

Com o aumento da demanda por proteína animal para alimentar população mundial, a demanda pela produção de milho também irá aumentar (SOUZA et al., 2018). Isso mostra um cenário favorável a cultura do milho.

Para a produção do milho o potássio é um dos nutrientes extraídos em maior quantidade (RESENDE et al., 2016; MENEZES et al., 2018). Este nutriente é essencial por ser um importante ativador enzimático, e necessário para manter a neutralidade dos ânions no citosol e estroma dos cloroplastos (PRADO, 2008).

Então para alcançar altas produtividades é necessário a utilização de fertilizantes potássicos, essa utilização corresponde a uma grande parte do custo com adubação (RESENDE et al., 2016). Isso demonstra a necessidade de buscar genótipos que utilizem o nutriente de forma eficiente e responda a aplicação de fertilizantes.

Para avaliação de genótipos em ambiente de estresse mineral Fageria e Kluthcouski (1980) desenvolveram um método aplicável ao melhoramento de plantas, de forma que fosse possível a seleção de genótipos eficientes quanto ao uso de nutrientes e responsivas quanto à sua aplicação.

Essa metodologia já foi utilizado em diferentes culturas e nutrientes (Rotili et al., 2010; Fidelis et al., 2011; Carvalho et al., 2012; Fidelis et al., 2012; Salgado et al., 2012; Sousa et al., 2012; Fidelis et al., 2013; Fidelis et al., 2014; Passos et al., 2015; Santos et al., 2016; Sodr e et al., 2016; Colombo et al., 2016; Santos et al., 2017). Porém há poucos estudos utilizando essa metodologia na cultura do milho para o potássio.

Assim, o objetivo foi classificar genótipos de milho quanto a sua eficiência no uso e resposta aplica o de potássio, para a produ o de grãos, utilizando a metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos na esta o experimental da Universidade Federal do Tocantins – UFT no campus de Gurupi, localizada a 273m de altitude, latitude: 11°44'39.7" S, e longitude: 49°02'56.6" W. A  rea experimental está no clima do tipo Aw segundo a classifica o de K ppen (DUBREUIL et al., 2017).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2018). A análise química deste solo, para a camada de 0-20 cm, apresentou os seguintes resultados: pH em CaCl₂= 4,8; P(Melich)= 2,00 mg dm⁻³; K= 0,17 cmol_c dm⁻³; Ca= 1,40 cmol_c dm⁻³; Mg= 0,50 cmol_c dm⁻³; H+Al= 2,50 cmol_c dm⁻³; e M.O= 1,60 dag kg⁻¹.

Foram conduzidos dois ensaios, o primeiro em baixa disponibilidade de potássio (BK), sem a aduba o nitrogenada em cobertura, e o segundo em alta disponibilidade

de potássio (AK), com a adubação nitrogenada em cobertura. Nos dois ensaios foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com 7 tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram genótipos de milho do programa de melhoramento da UFT, estes foram denominados: G1, G2, G3, G4, G5, G6 e G7.

A unidade experimental foi composta por quatro fileiras de 5,00m, com espaçamento entre fileiras de 0,90m. A área útil desta unidade foi composta pelas duas fileiras centrais, sem 0,50m da extremidade das fileiras.

O preparo do solo foi realizado com uma gradagem, seguida do nivelamento da área. A adubação de semeadura foi realizada manualmente no sulco, utilizando 300 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O na formulação 5-25-15+0,5% de Zn.

A semeadura foi realizada na entressafra de 2017, na profundidade de 0,04m. Após a emergência foi realizado o desbaste, utilizando um espaçamento de 0,20m entre plantas, para uma densidade populacional de 55.555 plantas ha⁻¹.

A adubação de cobertura de nitrogênio foi parcelada nos estádios vegetativos: V4 (quatro folhas expandidas) e V8 (oito folhas expandidas). Utilizando a dose de 150 kg ha⁻¹ de N, e a ureia (45% de N) como fonte. E a adubação de cobertura de potássio foi realizada somente no ensaio de AK, juntamente com a primeira aplicação de nitrogênio, utilizando a dose de 45 kg ha⁻¹ de K₂O, e o cloreto de potássio (58% de K₂O) como fonte.

Os tratos culturais como: controle de plantas daninhas, doenças e insetos-pragas foram realizados conforme as recomendações técnicas (GALVÃO et al., 2017; BORÉM et al., 2015; FANCELLI & DOURADO NETO, 2004).

A colheita foi realizada no estágio reprodutivo R6 (maturidade fisiológica). As espigas foram trilhadas e foi determinada a produtividade da unidade experimental (kg parcela⁻¹), então, corrigiu-se a umidade para 13% e à extrapolação para hectare (kg ha⁻¹).

Para classificar os genótipos quanto a eficiência e resposta foi utilizada a metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980). Nesta metodologia, a eficiência corresponde à média de produtividade do genótipo em baixa disponibilidade do nutriente. E a resposta corresponde à diferença da produtividade do genótipo em alta e baixa disponibilidade do nutriente, dividida pela diferença das doses do nutriente nos dois ensaios.

Os dados de produtividade foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade da variância dos erros. Em seguida, foi realizada análise de variância para cada ensaio e análise conjunta seguindo o critério da homogeneidade dos quadrados médios residuais dos ensaios. As médias de produtividade foram comparadas pelo teste de Scott - Knott (1974), a 5% de significância, utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância conjunta, apresentada a tabela 1, houve efeito significativo para os ensaios (AK e BK), genótipos e a interação (ensaios x genótipos). Esse efeito evidencia que há diferença entre as médias de produtividade dos genótipos e dos ensaios, e que há comportamento diferente dos genótipos nos dois ensaios. O coeficiente de variação (Tabela 1) foi classificado como baixo e a precisão experimental boa (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios
Bloco (Ensaio)	4	94.386,81 ^{ns}
Ensaio	1	6.549.890,38*
Genótipos	6	1.839.716,94*
Ensaio x Genótipos	6	1.034.671,77*
Erro experimental	26	366.409,67
Média geral		7.392,33
Coeficiente de Variação (%)		8,38

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta de produtividade (kg ha⁻¹) de 7 genótipos de milho, cultivados em alta e baixa disponibilidade de potássio.

*,^{ns}: significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste F à 5% de probabilidade de erro.

No ensaio de baixa disponibilidade de potássio (Tabela 2), houve o agrupamento dos genótipos em um único grupo, as médias de produtividade foram maiores que as médias do Brasil e Tocantins (CONAB, 2018).

Já para o ensaio de alta disponibilidade os genótipos foram agrupados em dois grupos, no grupo com maior média ficaram os genótipos G2 e G6, e os genótipos G1, G3, G4, G5 e G7 ficaram no grupo com menor média.

Genótipos	BK	AK	Eficiência	Resposta
G1	6.751 a	6.976 b	6751	4,99
G2	7.515 a	8.691 a	7.515	26,14
G3	7.651 a	7.884 b	7.651	5,18
G4	6.717 a	7.586 b	6.717	19,32
G5	6.766 a	7.232 b	6.766	10,35
G6	6.793 a	9.250 a	6.793	54,59
G7	6.788 a	6.892 b	6.788	2,30

Tabela 2. Médias de produtividade (kg ha⁻¹), eficiência (kg ha⁻¹) e resposta (kg kg⁻¹) de 7 genótipos cultivados em alta disponibilidade de potássio (AK) e baixa disponibilidade de potássio (BK)

Médias seguidas por mesma letra na coluna pertence a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de Scott - Knott (1974), a 5% de significância.

Conforme a metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980) os genótipos do quadrante I e II (Figura 1) são classificados como responsivos. São responsivos os genótipos: G2, G4 e G6, por terem média de resposta a cima da média geral genótipos

(17,55 kg kg⁻¹).

Para a metodologia os genótipos dos quadrantes I e IV (Figura 1) são classificados como eficientes. São eficientes os genótipos: G2 e G3, por apresentarem média de eficiência maior que a média geral dos genótipos (6997 kg ha⁻¹).

Os genótipos do III quadrante (Figura 1) são classificados como não eficientes e não responsivos. São não eficientes e não responsivos os genótipos: G1, G5 e G7, estes apresentaram média tanto de resposta como de eficiência menores que as médias gerais dos genótipos (17,55 kg kg⁻¹ e 6997 kg ha⁻¹).

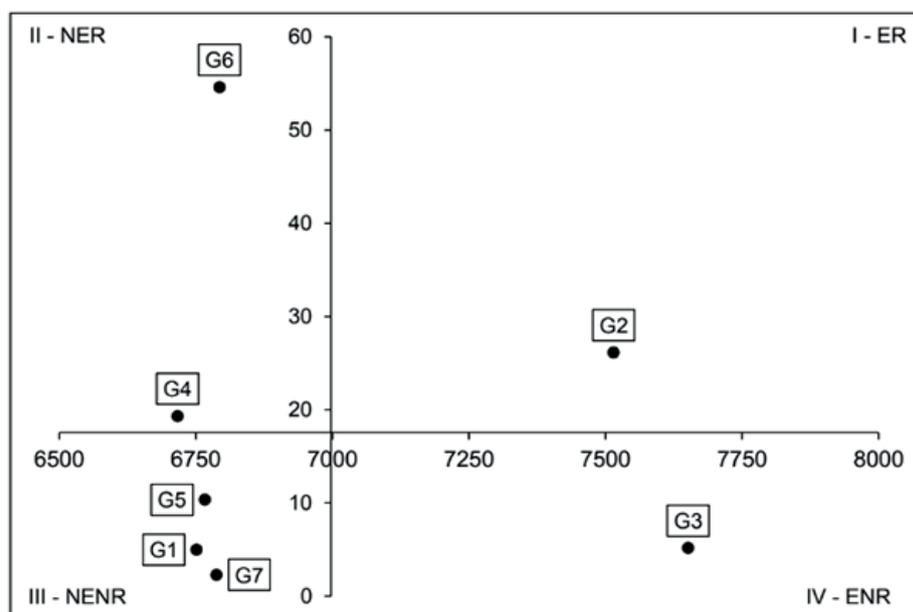


Figura 1. Eficiência no uso e reposta à aplicação de nitrogênio em genótipos de milho, por meio da metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980). ER - Eficiente e responsivo; NER - Não eficiente e responsivo; NENR - Não eficiente e não responsivo; e ENR - Eficiente e não responsivo.

4 | CONCLUSÕES

1. Os genótipos G2 e G6 apresentara as maiores médias em alta disponibilidade de potássio.
2. O genótipo G2 foi classificado como eficiente e responsivo ao potássio, e pode ser indicado para condições de baixa e alta disponibilidade de potássio.

REFERÊNCIAS

BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. Milho: do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV, 2015. 351p.

CARVALHO, R.P.; PINHO, R.G.V.; DAVIDE, L.M.C. Eficiência de cultivares de milho na absorção e uso de nitrogênio em ambiente de casa de vegetação. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.6, p.2125-2136, 2012.

COLOMBO, G.A.; PELÚZIO, J.M.; PIRES, L.P.M.; DARONCH, D.J.; MACHADO FILHO, G.C.

Eficiência do uso de fósforo de cultivares de soja em condições de cerrado tocantinense. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.3, n.1, p.42-49, 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Primeiro Levantamento**. Brasília: CONAB, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/22459_07172d10b7104ce2765c1734d0f7e857>. Acesso em: 30 out. 2018.

DUBREUIL, V.; FANTE, K.P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J.L. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. **EchoGéo**, v. 41, p. 1-27, 2017.

FAGERIA, N.D.; KLUTHCCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: EMBRAPA/CNPAP, 1980. 22p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2 ed. Piracicaba: Livrocere, 2004. 360p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FIDELIS, R.R.; NASCIMENTO, L.C.; SANTOS, M.M.; SILVA, G.F.; TONELLO, L.P.; OLIVEIRA, T.C. Efeito da adubação fosfatada na qualidade fisiológica de sementes de arroz cultivadas em terras altas. **Bioscience Journal**, v.29, n.1, p.15-21, 2013.

FIDELIS, R.R.; ROTILI, E.A.; SANTOS, M.M.; BARROS, H.B.; MELO, A.V.; DOTTO, M. Eficiência no uso de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.4, p.622-626, 2011.

FIDELIS, R.R.; ROTILI, E.A.; SANTOS, M.M.; BARROS, H.B.; RODRIGUES, A.M. Eficiência quanto ao uso e resposta à aplicação de nitrogênio de cultivares de arroz em solos de terras altas no sul do Estado do Tocantins, safra 2007/2008. **Bioscience Journal**, v.28, n.3, p.432-438, 2012.

FIDELIS, R.R.; SANTOS, M.M.; SANTOS, G.R.; SILVA, R.R.; VELOSO, D.A. Classificação de populações de milho quanto a eficiência e resposta ao uso de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.19, n.2, p.59-64, 2014.

GALVÃO, J.C.C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M.A. **Milho do plantio à Colheita**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 382.

GARCIA, J.C.; MATTOSO, M.J.; DUARTE, J.D.O.; CRUZ, J.C. **Aspectos econômicos da produção e utilização do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12p.

MENEZES, J.F.S.; SILVA BERTI, M.P.; JÚNIOR, V.D.V.; LIMA RIBEIRO, R.; BERTI, C.L.F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Journal of Neotropical Agriculture**, v.5, n.3, p.55-59, 2018.

PASSOS, N.G.; SOUSA, S.A.; LOPES, M.B.S.; VARAVALLI, M.A.; OLIVEIRA, T.C.; FIDELIS, R.R. Eficiência no uso de nitrogênio em genótipos de arroz em solos de várzea tropical do Estado do Tocantins. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.9, n.1, p.8-16, 2015.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15 ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

REGITANO-D'ARCE, M.A.B; SPOTO, M.H.F.; CASTELLUCCI, A.C.L. Processamento e industrialização do milho para alimentação humana. **Visão Agrícola**, n.13, p.138-140, 2015.

RESENDE, Á.V.; GUTIÉRREZ, A.M.; SILVA, C.G.M.; ALMEIDA, G.O.; GUIMARAES, P.D.O.; MOREIRA, S.G.; GONTIJO NETO, M.M. **Requerimentos Nutricionais do Milho para Produção de Silagem**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 12p.

ROTILI, E.A.; FIDELIS, R.R.; SANTOS, M.M.; BARROS, H.B.; PINTO, L.C. Eficiência do uso e resposta à aplicação de fósforo de cultivares de arroz em solos de terras altas. **Bragantia**, v.69, n.3, p.705-710, 2010.

SALGADO, F.H.M.; SILVA, J.; OLIVEIRA, T.C.; BARROS, H.B.; PASSOS, N.G.; FIDELIS, R.R. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.4, p.368-374, 2012.

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, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>>. Acesso em: 30 out. 2018.

SANTOS, W.F.; PELÚZIO, J.M.; AFFÉRRI, F.S.; SODRÉ, L.F.; HACKENHAAR, C.; REINA, E.; MACÊDO, D.A. Eficiência e resposta ao uso de nitrogênio em genótipos de milho para rendimento de proteína. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.10, n.4, p.6-11, 2016.

SANTOS, W.F.; SODRE, L.F.; MACIEL, L.C.; SILVA, R.M.; AFFERRI, F.S.; CERQUEIRA, F.B.; VIEIRA, R.S. Seleção de genótipos de milho quanto a sua resposta e eficiência ao nitrogênio. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.11, n.1, p.73-76, 2017.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-512, 1974.

SODRÉ, L.F.; ASCÊNIO, S.D.; PELÚZIO, J.M.; AFFÉRRI, F.S.; SANTOS, W.F.; CARVALHO, E.V. Cultivo para alto e baixo nitrogênio em genótipos de milho no Tocantins visando a produção de óleo. **Revista de Agricultura**, v.91, n.2, p.174-183, 2016.

SOUSA, S.A.; SILVA, J.; RAMOS, D.P.; OLIVEIRA, T.C.; GONZAGA, L.A.M.; FIDELIS, R.R. Eficiência e resposta à aplicação de nitrogênio de genótipos de feijão comum cultivados em várzea tropical do Estado do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.3, n.3, p.33-37, 2012.

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.11, 2018.

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE NEOSSOLOS E SUAS RELAÇÕES COM A GEOMORFOLOGIA DE UMA CATENA DO PAMPA

Daniel Nunes Krum

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Julio César Wincher Soares

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Lucas Nascimento Brum

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Jéssica Santi Boff

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Higor Machado de Freitas

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Topografia e Geotecnologias – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Pedro Maurício Santos dos Santos

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Topografia e Geotecnologias – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Gabriel Rebelato Machado

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Topografia e Geotecnologias – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

RESUMO: A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha diversas funções no ambiente e a sua perda pode interferir negativamente em vários processos do solo, provocando desequilíbrios e a sua degradação. O manejo do solo altera as suas propriedades químicas, físicas e biológicas, em relação a solos não cultivados, como aqueles encontrados sob campos nativos. Dentre os fatores de formação utilizados para o estudo do solo, destacam-se o relevo, que pode ser analisado a partir dos atributos do terreno (AT). Esses AT são extraídos do modelo digital de elevação, sendo utilizados como variáveis auxiliares na predição e descrição de processos na paisagem, contribuindo assim, para o aperfeiçoamento do mapeamento digital de solos. O objetivo deste trabalho foi de avaliar a dinâmica espaço-temporal das frações da matéria orgânica de Neossolos e suas relações com a geomorfologia de uma catena do pampa. Foram utilizados 52 pontos de prospecção de uma malha amostral multitemporal, com 15 m de equidistância. O teor de carbono orgânico (CO) das amostras de solo foi determinado pelo método colorimétrico

e os resultados dessas determinações foram submetidos a análise estatística descritiva e de geoestatística. Utilizando-se da krigagem ordinária, foram elaborados mapas de distribuição espacial das diferentes frações da MOS e posteriormente, foi extraído de um Modelo Digital de Elevação (0,5 m de resolução) os AT: elevação (ELEV), declividade (DECLV), curvatura planar (CPLAN), curvatura do perfil (CPERF), fator topográfico (LS) e o índice de umidade topográfica (IUT). As perdas e a redistribuição de CO das frações da MO de Neossolos possuem correlações com a geomorfologia da catena em estudo. Os valores de saldo do CO das frações da MO de Neossolos decresceram, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional. A densidade amostral foi extremamente importante para a definição das variáveis com exatidão.

PALAVRAS-CHAVE: Indicador de qualidade do solo, monitoramento espaço-temporal, pedometria, atributos do terreno.

ABSTRACT: Soil organic matter (SOM) performs several functions in the environment and its loss can negatively interfere in several soil processes, causing imbalances and their degradation. Soil management alters its chemical, physical and biological properties in relation to uncultivated soils, such as those found under native fields. Among the training factors used for soil study, the relief is highlighted, which can be analyzed from the terrain attributes (TA). These TA are extracted from the digital elevation model and are used as auxiliary variables in the prediction and description of processes in the landscape, thus contributing to the improvement of the digital mapping of soils. The objective of this work was to evaluate the space-time dynamics of the fractions of the organic matter of Neossolos and its relations with the geomorphology of a caten of the pampa. We used 52 points of prospecting for a multitemporal sampling mesh, with 15 m of equidistance. The organic carbon content (OC) of the soil samples was determined by the colorimetric method and the results of these determinations were submitted to descriptive and geostatistical statistical analysis. By using ordinary kriging, maps of the spatial distribution of the different fractions of the SOM were elaborated and later, the AT: elevation (ELEV), slope (DECLV) was extracted from a Digital Elevation Model (0.5 m resolution). planar curvature (CPLAN), profile curvature (CPERF), topographic factor (LS) and topographic moisture index (IUT). The losses and the redistribution of OC of the fractions of the OM of Neossolos have correlations with the geomorphology of the catena under study. The OC balance values of Neossolos OM fractions decreased after the insertion of the soybean crop with conventional tillage. Sample density was extremely important for the definition of variables with accuracy.

KEYWORDS: Indicator of soil quality, space-time monitoring, pedometry, terrain attributes.

1 | INTRODUÇÃO

O Bioma Pampa apresenta diferentes fitofisionomias, dentre elas a Estepe Gramíneo-Lenhosa, que vem sofrendo grandes transformações na sua cobertura

vegetal. Hoje, há expansão da cultura da soja e do eucalipto, sob áreas outrora ocupadas pelas fitofisionomias características deste bioma (de ALMEIDA, 2017).

Os Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos tem como características uma sequência de horizontes e camadas A-R ou A-C-R, com baixa profundidade efetiva (EMBRAPA, 2013). Os Neossolos rasos apresentam contato lítico bem próximo à superfície. A presença de contato lítico ou saprolítico altera a profundidade efetiva, influenciando no seu potencial ecológico e/ou agrícola (MACHADO, 1997; OLIVEIRA, 2001).

O manejo do solo altera as suas propriedades químicas, físicas e biológicas, em relação a solos não cultivados, como aqueles encontrados sob campo nativo. Práticas de manejo conservacionistas contribuem com melhorias na qualidade do solo de forma gradativa, até chegar a uma fertilidade química, física e biológica ideal. Em contrapartida, um manejo inadequado pode culminar na degradação do solo por meio de processos erosivos e de mudanças no seu manejo, gerando uma redução significativa na fertilidade do solo (LEITE et al., 2010).

A Matéria Orgânica do Solo (MOS) é um ótimo indicador da qualidade do solo e a sua importância em relação à fertilidade é amplamente reconhecida (REICHERT et al., 2003). Além disso, a MOS é um grande reservatório de Carbono Orgânico (CO), possuindo cerca de duas vezes a quantidade do C da atmosfera e da biomassa vegetal (SWIFT, 2001). Os teores de MOS presentes no solo são regulados pelas taxas de produção de material orgânico, pela distribuição da parte aérea e raízes das plantas e pela velocidade de decomposição dos compostos orgânicos (BATJES, 1996).

As mudanças que ocorrem pelo uso e manejo dos solos podem ser avaliadas por meio do fracionamento físico da MOS, e este fracionamento pode auxiliar na avaliação das modificações decorrentes do uso, devido à maior sensibilidade dessas frações frente ao manejo utilizado (BAYER et al., 2004). As frações da MOS são divididas em três compartimentos: fração leve-livre (FLL), fração leve oclusa (FLO) e fração pesada (FP). Desta maneira, a FLL ou interagregados possui uma formação semelhante à de materiais vegetais (GOLCHIN et al., 1994). A FLO ou intra-agregados é um conjunto variado de compostos orgânicos, com um grau de decomposição mais evoluído em relação à FLL (BALDOCK et al., 1992). Por fim, a FP consiste numa fração em processo mais avançado de decomposição e que tem estreita relação com os minerais do solo (SOLLINS et al., 1996).

Dentre os fatores de formação utilizados para o estudo do solo, destacam-se os atributos do terreno (AT). Estes atributos são extraídos de modelos digitais de elevação (MDE) e de acordo com a ordem de processamento, são classificados como primários e secundários. Conforme Wilson e Gallant (2000), a elevação (ELEV), a declividade (DECLV), a curvatura no perfil (CPERF) e a curvatura no plano (CPLAN) são atributos primários. Os atributos secundários são calculados partindo de dois ou mais atributos primários e a sua importância está atrelada a aptidão de identificar padrões espaciais (SOARES, 2015). Conforme Moore et al (1991), estes AT também são utilizados em

estudos de erosão, transporte de sedimentos e geomorfologia.

Para dar continuidade aos dados obtidos por coletas pontuais utiliza-se a geoestatística, que é uma ferramenta estatística empregada para verificar a existência ou não da variabilidade e a distribuição espacial das medidas estudadas, constituída numa importante ferramenta para a análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (VIEIRA et al., 2002).

Isto possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural das propriedades avaliadas, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (RODRIGUES et al., 2004).

Conforme a premissa supracitada, as práticas de plantio convencional contribuem para a redistribuição e perdas das frações da matéria orgânica do solo, numa catena no pampa gaúcho.

Desta maneira, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica espaço-temporal das frações da matéria orgânica de Neossolos e suas relações com a geomorfologia de uma catena, no pampa gaúcho.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Santiago, no Vale do Jaguari, Estado do Rio Grande do Sul, na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Câmpus Santiago, nas coordenadas centrais UTM 705.589 E e 6.769.112 S (SIRGAS 2000, zona 21 S) (FIGURA 1).

De acordo com a classificação de Köppen, o tipo climático que predomina é o Cfa, subtropical úmido com precipitação abundante em todos os meses do ano, perfazendo uma precipitação anual de 1.919 mm, com temperatura média anual de 17,9 °C (MORENO, 1961). O relevo apresenta feições de suave ondulado a ondulado, com altitude média que alcança cerca de 394 metros. Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), a área de estudo é formada por polipedons de Neossolos Litólicos Distróficos e Neossolos Regolíticos Distróficos.

Em 2016, a catena de 1,17 ha era ocupada por campo nativo, com no mínimo três décadas de ocupação. Posteriormente, em 2017, foi feita a inserção da cultura da soja em plantio convencional (FIGURA 1).

Foram coletadas amostras em 52 pontos de prospecções, nos diferentes momentos, numa malha com intervalos regulares de 15 m, na profundidade de 0 – 0,2 m.

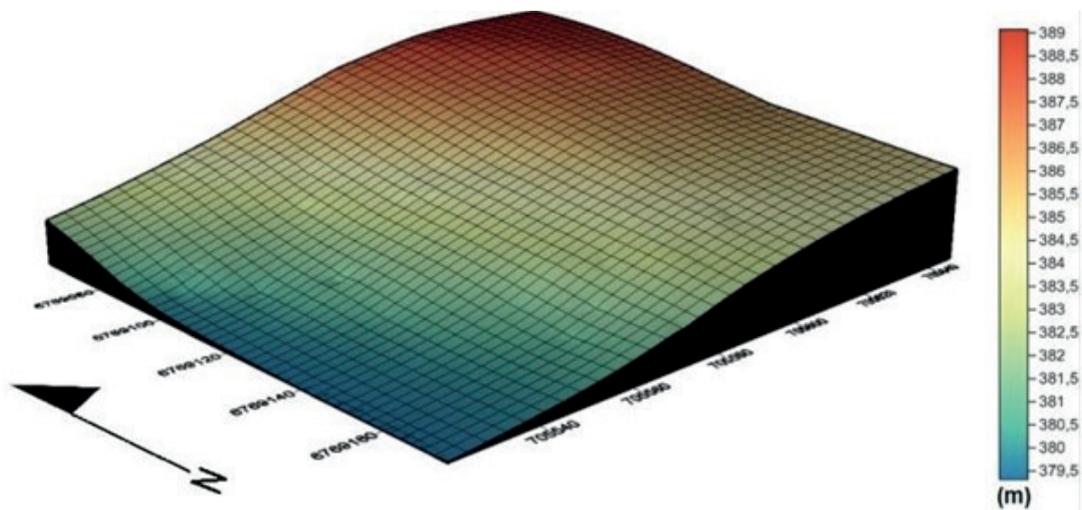


Figura 1 – Modelo Digital de Elevação da área de estudo.

Para a alocação dos pontos foi empregado um receptor GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), com dupla frequência (L1/L2) e disponibilidade de RTK (Real Time Kinematic), utilizando o datum horizontal SIRGAS 2000, zona 21 S.

Em seguida, foram coletadas amostras deformadas para determinação das diferentes frações da MOS, por meio do método adaptado de Six et al. (1998), adicionando 10 g de solo (TFSA) e 60 ml de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}) em snap-cap, com posterior agitação por 18 horas. O procedimento de agitação horizontal teve como objetivo o rompimento dos agregados do solo, com a decorrente liberação da MO que estava associada às partículas do solo. Após a agitação horizontal, utilizando-se de jatos de água destilada, as amostras foram fracionadas em peneiras com $250 \mu\text{m}$ e $53 \mu\text{m}$. Os materiais retidos nas peneiras de $53 \mu\text{m}$ e $250 \mu\text{m}$ perfazem a fração leve oclusa (FLO) e a fração leve livre (FLL) da MOS, respectivamente. Já os materiais inferiores a $53 \mu\text{m}$ perfazem a fração pesada (FP) da MOS. O teor de carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método colorimétrico, proposto por Raij et al. (2001).

No Sistema de Informações Geográficas (SIG) foram extraídos de um Modelo Digital de Elevação (MDE), com $0,5 \text{ m}$ de resolução os atributos do terreno: elevação (MDE), declividade (DECLIV), curvatura no plano (CPLAN), curvatura no perfil (CPERF), fator topográfico (LS) e o índice de umidade do terreno (IUT). A escolha desses atributos para a caracterização geomorfológica foi baseada nos trabalhos de Moore et al. (1993), Wilson e Gallant (2000), e Dlugob (2011).

A obtenção dos atributos do terreno foi realizada conforme as descrições a seguir:

- a) Elevação (m): Foi extraído diretamente do modelo digital de elevação (MDE);
- b) Declividade ($^{\circ}$): A derivação da superfície resultou num vetor com a componente declividade;
- c) Curvatura no Perfil (m^{-1}): O atributo foi extraído com o calculo da primeira derivada da declividade;
- d) Curvatura no Plano (m^{-1}): O atributo foi extraído com o calculo da primeira

derivada do aspecto;

e) Fator LS (adimensional): Atributo análogo ao fator topográfico da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE);

f) Índice de umidade do terreno (adimensional).

A variabilidade das frações da MOS foi avaliada pela análise estatística descritiva e por técnicas de geoestatística. Por se tratar de 52 amostras por ocupação, a hipótese de normalidade dos dados foi examinada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com 99 % de significância.

As análises geoestatísticas foram realizadas no software do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® 10.5.1. Sendo que o estimador de krigagem ordinária é descrito por Trangmar et al. (1985), com a seguinte equação: $\hat{Z}(x_0) = \sum (e_i Z(x_i))$, em que: $\hat{Z}(x_0)$ é a estimativa de krigagem para o local x_0 não amostrado; $Z(x_i)$ valor obtido por amostra coletada a campo; n corresponde ao número de amostras vizinhas; e e_i são os pesos da krigagem atribuídos aos valores vizinhos $Z(x_i)$ para estimar $\hat{Z}(x_0)$.

Assim, as estimativas lineares e não enviesadas previstas pelo interpolador de krigagem ordinária, o qual utiliza a informação estrutural obtida pelo variograma e também, que considera a incerteza associada às estimativas da variância da krigagem, conferiu continuidade aos dados pontuais da amostra. Desta maneira, superou-se um dos gargalos das simulações espaciais, que é dar continuidade espacial acurada aos dados ou informações de uma pesquisa.

Estabeleceram-se semivariogramas para possibilitar a avaliação quantitativa das variáveis regionalizadas. Com o interpolador de krigagem ordinária, foram testados os seguintes modelos teóricos de semivariogramas: circular, esférico, exponencial e gaussiano.

O procedimento de seleção do modelo semivariográfico consiste, naquele que representar o melhor resultado no teste de validação cruzada (*cross-validation*). A partir da comparação entre os valores reais das variáveis com os seus valores preditos. A validação cruzada permite identificar a melhor estrutura de dependência espacial, indicando assim, o erro de predição de cada valor verificado. Logo, os erros de predição testados, também chamados de resíduos, foram: Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS).

Modelos que oferecem predições acuradas precisam obedecer a premissa de que os erros M e MS deveram estar próximos a zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS serão próximos de 1 (ESRI, 2016).

O grau de dependência espacial (IDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência

espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar.

Do plano digital das frações da MOS, com altíssima resolução espacial (0,5 metros), foram extraídos 560 casos estatísticos por meio da seguinte rotina: ArcToolbox - Spatial Analyst - Ferramentas de extração - Extrair múltiplos valores por ponto.

Por fim, para analisar o relacionamento entre as variáveis, efetuou-se a análise de correlação de Pearson ($p < 0,01$) entre os valores de PS e dos AT's. O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a 1, valores positivos indicam que uma determinada propriedade aumenta em função da outra e valores negativos indicam o inverso. Conforme Evans (1996), as correlações são classificadas como: muito fraca (0,00 até 0,19), fraca (0,20 até 0,39), moderada (0,40 até 0,59), forte (0,60 até 0,79) e muito forte (0,80 até 1).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para as frações do saldo da MOS apresentaram distribuição normal para todas as frações analisadas, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,01$) (TABELA 1).

Fração (g.Kg ⁻¹)	Co _T	Co _{≤53um}	Co _{53-250um}	Co _{250-2000um}
Casos	52	52	52	52
Mínimo	-4,32	-8,69	-1,66	-1,68
Máximo	37,80	39,12	7,73	2,27
Média	4,10	3,52	0,34	0,23
K-S	1,61	1,52	1,18	0,73
SIG	0,02	0,02	0,12	0,65

Tabela 1 - Análise estatística descritiva do saldo de carbono orgânico das diferentes frações da matéria orgânica de Neossolos, numa Catena do Pampa.

Co_T: Carbono orgânico total Co: Carbono orgânico. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância ($p < 0,01$). 1: valores positivos para as perdas.

Os valores positivos apresentados na tabela 1 referem-se às perdas e os valores negativos a redistribuição do CO_{TOTAL} e nas diferentes frações.

A fração de CO_{TOTAL} demonstrou média de 4,10 g.Kg⁻¹, a fração FP apresentou valores médios de 3,52 g.Kg⁻¹. Já para a fração FLL, o valor intermediário foi de 0,34 g.Kg⁻¹. Por fim, a fração FLO obteve média de 0,23 (TABELA 1).

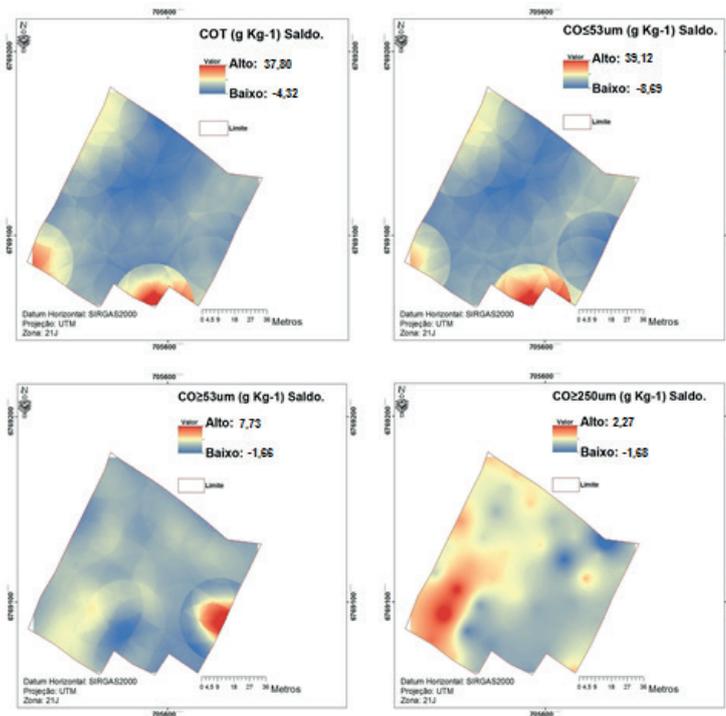


Figura 1 - Distribuição espacial do saldo¹ de carbono orgânico das diferentes frações da matéria orgânica de Neossolos, numa Catena do Pampa.

1: valores positivos para as perdas.

Conforme a análise geoestatística, o modelo que melhor se ajustou aos dados da fração Co_{TOTAL} foi o exponencial, com um alcance de 170,26 m, patamar de 31,77 e efeito pepita de 16,65. A dependência espacial foi classificada como moderada, com GDE de 52,42 % (TABELA 2).

Os dados da fração FP se ajustaram ao modelo esférico, com alcance de 170,26 m, patamar de 36,76 e efeito pepita 18,50, culminando numa dependência espacial moderada (GDE de 50,33 %) (TABELA 2).

A fração FLL ajustou-se ao modelo gaussiano, com alcance de 48,04 m, patamar de 0,50 e efeito pepita de 0,02, perfazendo a dependência espacial forte, com GDE de 0,05 %. Por fim, os dados da fração FLO se ajustaram ao modelo exponencial, com alcance de 27,50 m, patamar 0,39 e efeito pepita de 0, com dependência espacial forte (GDE de 0 %) (TABELA 2).

Frações (g.Kg ⁻¹).	Co_T	$Co_{\leq 53um}$	$Co_{53-250um}$	$Co_{250-2000um}$
Modelo	Exponencial	Esférico	Gaussiano	Exponencial
Alcance	170,26	170,26	48,04	27,50
Patamar	31,77	36,76	0,50	0,39
Pepita	16,65	18,50	0,02	0,00
M	-0,351	-0,292	0,007	-0,008
RMS	6,078	6,467	1,352	0,595
MS	-0,061	-0,047	0,005	-0,012
RMSS	1,102	1,100	1,073	1,015
ASE	5,472	5,816	1,252	0,589

DE	Moderada	Moderada	Forte	Forte
GDE (%)	52,42	50,33	0,05	0,00

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para o saldo de carbono orgânico das diferentes frações da matéria orgânica de Neossolos, numa Catena do Pampa.

Co_T: Carbono orgânico total. Co: Carbono orgânico. M: Média. MS: Média dos Erros Padronizada. RMS: Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado. ASE: Média da Variância dos Erros Padronizados. RMSS: Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado.

Um critério importante para estudos de geoestatística é o alcance, que significa a distância máxima que a variável em estudo está correlacionada espacialmente (DAVIS, 1986), ou seja, maiores valores de alcance contribuem para uma maior confiança nas estimativas feitas (CORÁ, 2006). O alcance é um elemento importante para o delineamento e avaliação experimental, podendo contribuir para a definição de procedimentos amostrais (SOUZA et al., 2008), tendo aplicação direta no que se refere ao plano de amostragem na agricultura de precisão. Portanto, o valor mensurado neste trabalho indica que as frações da MOS apresentam elevada variação na área de estudo e que a grade amostral foi suficiente para sua descrição com exatidão

Conforme Cambardella et al. (1994), o patamar é de grande importância na determinação do alcance, ou seja, é o limite entre a dependência espacial e a independência espacial entre os dados, sendo de grande valia para determinar qual método estatístico deve ser usado para a realização das análises dos dados, assim como na definição da mínima distância entre os pontos amostrais.

O efeito pepita é um fator importante que indica a variabilidade não explicada pelo modelo geoestatístico, levando em consideração a distância de amostragem utilizada (MCBRATNEY, 1986). Esse fator pode ser expresso em porcentagem em relação ao patamar, com a finalidade de facilitar a comparação entre o GDE e as variáveis em estudo (TRANGMAR et al., 1985). Desta maneira, quanto menor for o valor do efeito pepita, maior será a continuidade do fenômeno e menor será a variância da estimativa (ISAAKS, 1989). Assim, as predições realizadas para as diferentes frações da MOS, nos diferentes momentos, apresentaram erro experimental praticamente nulo, visto que, os valores estiveram iguais ou próximos a zero.

Maiores GDE apresentam uma melhor estrutura espacial, isso indica que, no mapeamento pode-se obter uma maior precisão das propriedades utilizando técnicas de geoestatística, como a krigagem ordinária (KRAVCHENKO et al., 2006), ou seja, os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais. Conforme a Tabela 2, para as diferentes frações da MOS, nos diferentes momentos, os GDE's foram classificados de moderado a forte, demonstrando uma boa estrutura espacial.

As maiores perdas de Co_T, Co_{≤53um} e Co_{53-250um} das frações da MOS ocorreram no terço inferior da encosta, tendo em vista que, ocorreram correlações negativas entre a elevação e as perdas de CO (TABELA 3).

Frações (g.Kg ⁻¹)	Co _T	Co _{≤53um}	Co ₅₃₋	Co ₂₅₀₋
			250um	2000um
Casos	560	560	560	560
ELEV	-0,29*	-0,78*	-0,33*	-0,06
IUT	0,27*	0,12*	0,10*	0,23*
CPLAN	-0,26	0,10*	-,019	-,020
DECLV	0,36*	0,62*	0,34*	0,19*
LS	0,44*	0,67*	0,37*	0,25*
CPERF	-0,03	0,06	-0,02	-,034

Tabela 3 - Significância e coeficientes de correlação de Pearson para o saldo de carbono orgânico das diferentes frações da matéria orgânica de Neossolos, numa Catena do Pampa.

Co_T Carbono orgânico total. *significativo (p<0,05).

Nas feições do relevo com maior declividade, ocorreram maiores valores do Fator LS; conforme Minella e Merten (2012), isso descreve a distribuição espacial da possível perda de solo. Assim, a análise de correlação revelou que, nas áreas com maior declividade e conseqüentemente maior fator LS, ocorrem as perdas mais dramáticas de CO das diferentes frações do MOS (TABELA 3, FIGURA 2).

A distribuição espacial da CPLAN e da CPERF indicaram um comportamento retilíneo da encosta, com fluxos convergentes do sentido leste para oeste. O padrão espacial do LS, indicou a ocorrência do escoamento concentrado com alta energia nas feições côncavas, convergindo para as áreas de depósito, isso também foi observado por Canellas et al. (2000) num trabalho realizado em uma topossequência, na cidade do Rio de Janeiro. Por fim, o IUT indicou uma tendência de maior acúmulo de água no solo dessas áreas, e as perdas de CO das diferentes frações do MOS podem estar associadas ao escoamento superficial; este comportamento da MOS vai de encontro aos resultados obtidos por Walton et al. (2000) e Silva et al. (2005) (TABELA 3, FIGURA 2).

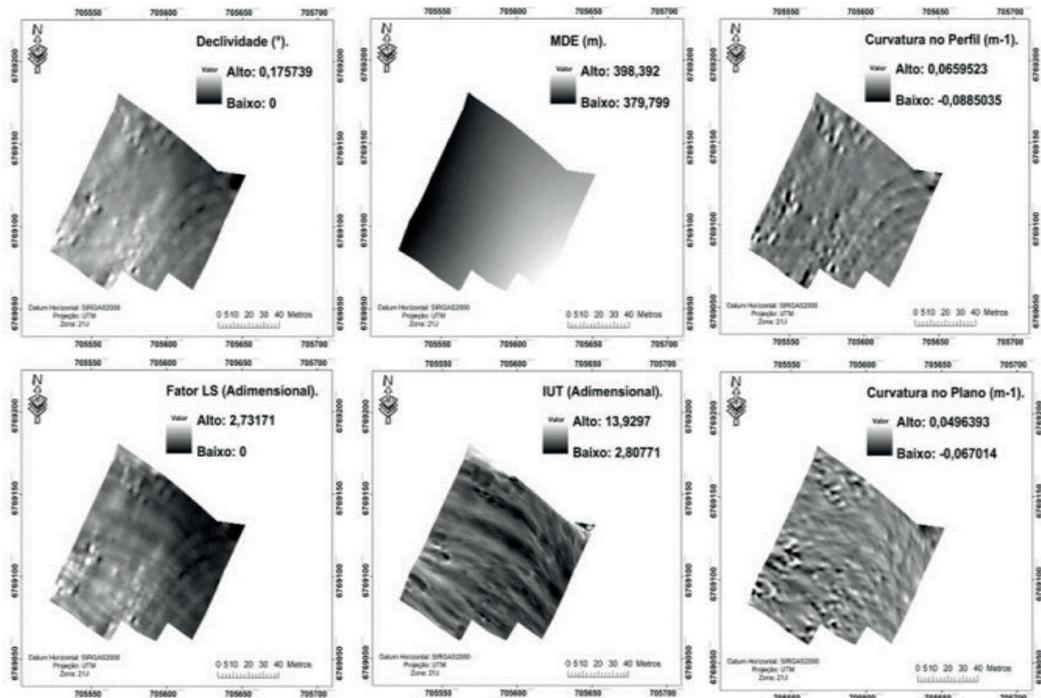


Figura 2 - Mapas de distribuição espacial dos atributos do terreno de uma Catena do Pampa.

4 | CONCLUSÃO

- As perdas e a redistribuição de CO das frações da MO de Neossolos possuem correlações com a geomorfologia da Catena, no Pampa.

- Os valores de saldo do CO das frações da MO de Neossolos decresceram, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional.

- A densidade amostral foi extremamente importante para a definição das variáveis com exatidão

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

BALDOCK, J.A.; OADES, J.M.; WATERS, A.G.; et al. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. *Biogeochemistry*, v.16, p.1–42, 1992.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, v.47, n.2, p.151-163, 1996.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; et al. Carbon storage in labile fractions of soil organic matter in a tropical no-tillage Oxisol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.677-683, 2004.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no Estado do Rio de Janeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, V.35, p.133-143, 2000.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; et al. Field-scale variability of soil properties

in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CORÁ, J.E.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.374-387, 2006.

DAVIS, J.C. *Statistics and data analysis in geology*. 2.ed. New York: John Wiley, 1986. 646p.

DE ALMEIDA, J. A. Solos das Pradarias Mistas do sul do Brasil. In: CURI, N. et. al., eds. *Pedologia: Solos dos Biomas Brasileiros*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. P.408-463.

DLUGOß, V.; FIENER, P.; VAN OOST.; et al. Model based analysis of lateral and vertical soil carbon fluxes induced by soil redistribution processes in a small agricultural catchment. *Earth Surf. Process. Landforms*, v. 37, p. 193–208, 2012.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

Environmental Systems Research Institute. *Using ArcGIS geoestadistical analyst*. Redlands, 2016.

EVANS, J.D. *Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences*. Pacific Grove, Calif.: Brooks/Cole Publishing; 1996.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J. O.; et al. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Aust. J. Soil Res.* 1994. 32, 285–309.

KRAVCHENKO, A. N.; ROBERTSON, G. P.; SNAP, S. S.; et al. Using information about spatial variability to improve estimates of total soil carbon. *Agronomy Journal*, v. 98, n. 3, p. 823-829, 2006.

LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAUJO, A. S. F.; et al. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, v. 48, p. 258-265, 2010.

MACHADO, S.R.V. *Caracterização química, física e mineralógica de saprolitos do Estado de São Paulo e suas implicações na taxonomia e uso agrícola*. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1997. 105p. (Tese de Mestrado).

LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAUJO, A. S. F.; et al. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, v. 48, p. 258-265, 2010.

MCBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *J. Soil Sci.*, 37:617-639, 1986.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.42, n.9, p.1575-82, set. 2012.

MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A., et al. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, v. 57, p. 443-452, 1993.

MOORE, I.D.; GRAYSON, R.; LADSON, A. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, v. 5, p. 3-30, 1991.

MORENO, J.A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonizações, Seção de Geografia, 1961. 46p.

OLIVEIRA, J.B. Pedologia aplicada. Jaboticabal, FUNEP, 2001.414p.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. R. Ci. Amb., 27:29-48, 2003.

RODRIGUES, V.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. Ciência Rural, v. 34, n. 2, 2004.

RODRIGUES, V.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. Ciência Rural, v. 34, n. 2, 2004.

SILVA, A.M. da; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, p.1223-1230, 2005.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K.; et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. Soil Science Society of America Journal, v.62, p.1367-1377, 1998.

SOARES, J.C.W. Atributos do terreno na diferenciação e no mapeamento digital de solos. 2015. 96p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. Geoderma, v.74, p.65-105, 1996.

SOUZA, G.S; LIMA, J.S.S; SILVA, S.A.; et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. Acta Scientiarum. Agronomy, v.30, p.589-596, 2008.

SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. Soil Sci., v.166, p.858-871, 2001.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy, 38:45-93, 1985.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil quality card design guide: a guide to develop locally adapted conservation tools. NRCS/ Soil Quality Institute. Washington, 1999. 63p. <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQI>. Acesso em: 05.01.2001.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; et al. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: Alvarez V., V.H.; Schaefer, C.E.G.R.; Barros, N.F.; Mello, J.W.V. & Costa, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.

WALTON, R.S.; VOLKER, R.E.; BRISTOW, K.L.; et al. Experimental examination of solute transport by surface runoff from low-angle slopes. Journal of Hydrology, v.233, p.19-36, 2000.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital terrain analysis (Ed.). Terrain analysis: principles and applications. New York: Wiley & Sons, 2000. p. 1-27.

EFEITOS DAS FORMAS DE MANEJO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO TÍPICO EM DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS

Valéria Escaio Bubans

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul-Unijuí
Ijuí-RS

Adriano Udich Bester

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul-Unijuí
Ijuí-RS

Murilo Hedlund da Silva

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul-Unijuí
Ijuí-RS

Tagliane Eloíse Walker

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul-Unijuí
Ijuí-RS

Leonir Terezinha Uhde

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul-Unijuí
Departamento de Estudos Agrários - DEAg/Unijuí
Ijuí-RS

Cleusa Adriane Menegassi Bianchi

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul-Unijuí
Departamento de Estudos Agrários - DEAg/Unijuí
Ijuí-RS

identificando possíveis atributos restritivos para o desenvolvimento das plantas. O presente estudo foi realizado na área experimental, pertencente ao Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR), no município de Augusto Pestana (RS). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico. As amostragens químicas e físicas foram realizadas no dia 21 de agosto de 2017. Para a análise química do solo foram coletadas três amostras aleatórias em cada área, na profundidade de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm (para realizar a comparação entre os atributos químicos do solo: pH; Índice SMP; matéria orgânica; fósforo e potássio “disponível” (método Mehlich⁻¹); cálcio, magnésio e alumínio trocáveis e teor de argila). Para o estudo da densidade do solo foi adotado o método do anel volumétrico, as amostras foram coletadas em quatro profundidades: 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20; calculando-se umidade gravimétrica, umidade volumétrica, densidade do solo, porosidade total e espaço aéreo. Comparando os resultados físico-químicos entre os distintos sistemas de cultivos em duas profundidades constata-se diminuição da disponibilidade dos nutrientes potássio, fósforo, cálcio e magnésio ao longo do perfil de solo. A matéria orgânica tende a ser menor nas camadas mais profundas do solo em razão do maior acúmulo de resíduos orgânicos em

RESUMO: O objetivo do presente estudo foi avaliar, por meio da análise química e física de solo, quatro áreas distintas de cultivo

superfície, resultado do sistema de manejo utilizado. Não há condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento das culturas, considerando os resultados de densidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores de qualidade química e física, estrutura do solo, sistema de manejo, compactação.

ABSTRACT: The objective of the present study was to evaluate, through the chemical and physical soil analysis, four distinct areas of cultivation identifying possible restrictive attributes for the development of the plants. The present study was carried out in the experimental area, belonging to the Regional Institute of Rural Development (IRDeR), in the municipality of Augusto Pestana (RS). The soil of the experimental area is classified as typical dystroferric Red Latosol. The chemical and physical samplings were performed on August 21, 2017. For the soil chemical analysis, three random samples were collected in each area at depths of 0 to 10 cm and 10 to 20 cm (to compare the soil chemical attributes: pH, SMP index, organic matter, phosphorus and potassium “available” (Mehlich-1 method), exchangeable calcium, magnesium and aluminum and clay content). For the study of the soil density was adopted the volumetric ring method, the samples were collected in four depths: 0.0-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.15 and 0.15-0.20; calculating gravimetric moisture, volumetric moisture, soil density, total porosity and airspace. Comparing the physico-chemical results between the different cropping systems at two depths, the availability of potassium, phosphorus, calcium and magnesium nutrients along the soil profile is observed. The organic matter tends to be lower in the deeper layers of the soil due to the greater accumulation of organic residues on the surface, resulting from the management system used. There are no restrictive conditions to the growth and development of the crops, considering the results of soil density.

KEYWORDS: Indicators of chemical and physical quality, soil structure, management system, compaction.

1 | INTRODUÇÃO

A agricultura é essencial para a produção de alimentos e com o aumento da população mundial, combinada com a crescente demanda por alimentos, surge uma grande questão: saber como produzir mais alimentos sem afetar drasticamente os diferentes ecossistemas terrestres (GUALBERTO et al., 2003), busca por práticas produtivas mais sustentáveis torna-se imprescindível para a produção agrícola. Entre estas práticas está o manejo sustentável do solo (SANS, 2000; TÓTOLA; CHAER, 2002), o qual diz respeito à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (ARGENTON et al., 2005). Para tal finalidade, é preciso a execução de processos de cultivos com culturas que possuem potencial de incrementar matéria orgânica aos solos.

Os solos, quando submetidos a determinados sistemas de cultivo, tendem a um

novo estado de equilíbrio (SILVA et al., 2005), refletindo em diferentes manifestações de seus atributos físicos, químicos e biológicos (DORAN; PARKIN, 1994).

A diminuição da qualidade química do solo irá interferir nos teores de fósforo e nitrogênio, na matéria orgânica, na capacidade de troca de cátions e no pH do solo; já a perda da qualidade biológica resulta em efeitos negativos na atividade de enzimas no solo, na biomassa microbiana e nas taxas de mineralização do nitrogênio (TÓTOLA; CHAER, 2002), com implicações diretas sobre o desenvolvimento das plantas. Quanto à perda da qualidade física, esta afeta o espaço poroso do solo, podendo prejudicar o fornecimento de água e oxigênio, limitando o desenvolvimento das plantas (TORMENA et al., 1998) e da atividade de microrganismos no solo (LEONARDO, 2003), além de afetar diretamente a estrutura do solo, a formação de agregados pouco estáveis, a redução da porosidade, a elevada densidade (NUNES, 2003; CARVALHO et al., 2004), a maior resistência de penetração do sistema radicular das plantas (MARTINS et al., 2002; CARVALHO et al., 2004) e a reduzida capacidade de infiltração e armazenagem de água no solo (TORMENA et al., 1998).

A avaliação da qualidade do solo é fundamental para a determinação da sustentabilidade dos sistemas de manejo utilizados (SANS, 2000; TÓTOLA; CHAER, 2002). O objetivo do presente estudo foi avaliar, por meio da análise química e física de solo, quatro áreas distintas de cultivo, identificando possíveis atributos restritivos, elencando possibilidades de manejo sustentáveis.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na área experimental, pertencente ao Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR), no município de Augusto Pestana (RS), localizado a 28° 26' 30" S e 54° 00' 58" W, altitude de 280 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 2013). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo CFA (subtropical úmido).

Tomou-se como base de roteiro para a coleta das amostras de solo para análise química e física as áreas de mata nativa, sucessão cultural aveia branca/girassol e milho silagem (sucessão 6), sucessão cultural aveia branca/milho grão e soja safrinha (sucessão 7) e pastagem de tifton 85 (perene). As sucessões 6 e 7 foram constituídas de parcelas (10 x 15m). As amostragens químicas e físicas foram realizadas no dia 21 de agosto de 2017 em aula prática da disciplina de Manejo e Conservação do Solo e da Água, do curso de Agronomia da Unijuí.

Para a análise química do solo foram coletadas três amostras aleatórias em cada área, na profundidade de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm (para realizar a comparação entre os atributos químicos do solo entre duas camadas de profundidades, verificar problemas de acidez potencial em subsuperfície e disponibilidade do fósforo inferior ao limite crítico). Após a coleta das amostras, as mesmas foram identificadas e enviadas

ao Laboratório de Análise de Solos (LAS) da Unijuí, onde procedeu-se as análises físico-químicas das respectivas amostras utilizando-se das metodologias indicadas para todos os laboratórios integrantes da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e Tecido vegetal para os estados do Rio Grande do Sul (Rolas) (TEDESCO et al., 1995), para a determinação dos atributos químicos do solo: pH do solo em água; Índice SMP; matéria orgânica; fósforo e potássio “disponível” (método Mehlich-1); cálcio, magnésio e alumínio trocáveis e teor de argila.

Para o estudo da densidade do solo foi adotado o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), sendo usados anéis com volume conhecido (176,7 cm³). As amostras foram coletadas em quatro profundidades: 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20. Os resultados foram utilizados para os cálculos de umidade gravimétrica, umidade volumétrica, densidade do solo, porosidade total e espaço aéreo. No LAS realizou-se a pesagem de Massa de Solo Úmido (MSU) das amostras e, após, foram encaminhadas para a estufa de circulação forçada, com temperatura de 105°C, por um período mínimo de 48 horas até atingir peso constante. Depois da secagem foi feita uma nova pesagem para obter a Massa de Solo Seco (MSS). Para a densidade das partículas, foi adotado o método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997), e utilizadas as mesmas amostras coletadas para o estudo da densidade do solo. Para verificação da existência de limitações ao crescimento radicular, relacionou-se os resultados de densidade do solo com os resultados da análise granulométrica, mais especificamente o teor de argila, utilizando-se a classificação proposta por Reichert et al. (2007).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando os resultados físico-químicos entre os distintos sistemas de cultivos em duas profundidades (Tabela 1), é possível observar diminuição da disponibilidade dos nutrientes potássio, fósforo, cálcio e magnésio ao longo do perfil de solo. Assim, a matéria orgânica tende a ser menor nas camadas mais profundas do solo em razão do maior acúmulo de resíduos orgânicos em superfície, resultado do sistema de manejo utilizado (plantio direto consolidado). Observa-se uma redução no teor de argila da camada de 0-10 cm em relação à camada de 10 a 20 cm nos quatro agroecossistemas.

Profund. m	pH água	SMP	M.O %	K mg dm ⁻³	P %	Al	Ca	Mg	Argila %	H+Al	CTC _{pH7,0} cmol _c dm ⁻³	CTC _{efetiva} cmol _c dm ⁻³	Valor V %	Valor m
Mata nativa														
0,0-0,10	6,0	6,3	3,8	498	3,4	0	7,2	2,2	37	3,1	13,8	10,7	77,6	0,0
0,10-0,20	5,7	6,0	2,4	424	<3,0	0	4,3	1,3	57	4,4	11,4	7,1	61,9	0,0
Pastagem de TIFTON 85														
0,0-0,10	5,7	6,1	4,3	379	8,7	0	5,1	3,1	53	3,9	13,1	9,2	70,2	0,0
0,10-0,20	5,8	6,1	2,6	271	5,1	0	4,6	2,8	65	3,9	12,0	8,1	67,6	0,0
Sucessão cultural aveia branca/girassol e milho silagem (6)														
0,0-0,10	5,4	6,0	3,9	247	11,7	0,2	5,6	2,6	56	4,4	13,2	9,0	66,9	2,2
0,10-0,20	5,6	6,0	2,7	86	<3,0	0	4,6	2,3	69	4,4	11,5	7,1	62,0	0,0

Sucessão cultural aveia branca/milho grão e soja safrinha (7)														
0,0-0,10	5,6	6,1	3,8	267	23,6	0	6,2	3	48	3,9	13,8	9,9	71,8	0,0
0,10-0,20	5,9	6,2	2,3	114	3,4	0	5,5	3,4	64	3,5	12,7	9,2	72,6	0,0

Tabela 1. Resultados dos atributos físico-químicos dos solos da mata nativa e distintos agroecossistemas em duas profundidades.

Nos sistemas de cultivo Tifton 85, sucessão cultural aveia branca/girassol e milho silagem (6), sucessão cultural aveia branca/milho grão e soja safrinha (7), não há necessidade de aplicação de calcário. Na área de pastagem de Tifton 85, há necessidade de ajustar a adubação fosfatada, considerando que o teor de fósforo disponível se encontra médio.

Identificação	UG	DS	UV	PT	EA
	%	g cm ⁻³		%	
Pastagem de Tifton 85					
0,0-0,05	31,72	1,17	37,03	55,63	18,60
0,05-0,10	24,87	1,31	32,50	54,25	21,75
0,10-0,15	24,48	1,35	32,99	50,82	17,83
0,15-0,20	25,52	1,35	34,38	49,47	15,09
Mata nativa					
0,0-0,05	37,13	0,83	30,99	68,29	37,30
0,05-0,10	33,22	0,90	29,85	66,30	36,45
0,10-0,15	29,53	1,10	32,37	56,76	24,40
0,15-0,20	26,99	1,23	33,20	56,95	23,75
Sucessão cultural aveia branca/girassol e milho silagem (6)					
0,0-0,05	29,05	1,01	29,30	62,18	32,89
0,05-0,10	25,84	1,21	31,36	54,49	23,13
0,10-0,15	24,64	1,31	32,18	52,99	20,80
0,15-0,20	25,64	1,39	35,71	51,26	15,54
Sucessão cultural aveia branca/milho grão e soja safrinha (7)					
0,0-0,05	26,19	1,24	32,58	53,35	20,77
0,05-0,10	23,72	1,49	35,43	45,49	10,06
0,10-0,15	22,73	1,51	34,37	47,07	12,70
0,15-0,20	23,70	1,49	35,40	46,97	11,57

Tabela 2. Resultados de Umidade Gravimétrica (UG), Densidade do Solo (DS), Umidade Volumétrica (UV), Porosidade Total (PT), Espaço Aéreo (EA) da mata nativa e distintos agroecossistemas.

Os sistemas de cultivo e de manejo de solo podem alterar as propriedades físicas e químicas do solo. Identificando áreas com restrições ao crescimento radicular e avaliando o estado de compactação, de acordo com Reichert et al. (2007), para solos que apresentam textura média (20 a <55% de argila), caso dos agroecossistemas em estudo, a densidade do solo foi maior do que 1,55 Mg m³ e o espaço aéreo (%) menor que 10, revelando condições de restrição.

Observa-se que a densidade do solo não ultrapassa $1,55 \text{ g cm}^{-3}$, significando que não há indicações de restrição para o desenvolvimento das plantas nos três sistemas de cultivo (Tabela 3). O espaço aéreo é a quantidade de macro e microporos no solo. Se o solo apresentar muitos microporos ele será mais adensado e se torna restritivo no limite de 10%, contudo, ao interpretar os resultados do EA na Tabela 2, percebe-se que também não há restrição; o que significa afirmar que os manejos que estão sendo utilizados nessas áreas encontram-se adequados.

De acordo com a Tabela 3, a classe textural predominante no estudo é a argilosa, que contém mais de 35% de argila, formada por grãos menores que os da areia. Solos com maiores teores de argila, em virtude das suas propriedades químicas e físicas, são melhores para fins agrícolas, uma vez que a distribuição do tamanho das partículas do solo interfere diretamente no grau de compactação e na disponibilidade de água (KLEIN, 2008).

Identificação	Argila	Areia	Silte	Tipo solo	Classe textural
Mata nativa	46	20	34	3	Argila
Tifton 85	53	13	34	3	Argila
Sucessão 6	54	16	30	3	Argila
Sucessão 7	49	18	33	3	Argila

Tabela 3. Análise granulométrica e classe textural.

Muitos são os fenômenos que podem degradar o solo. Sendo assim, práticas de manejo e conservação do solo e da água, tanto na agricultura quanto na pecuária, se fazem cada vez mais necessárias para que o uso da terra seja mais sustentável. O planejamento de utilização e manejo do solo deve ser baseado primordialmente em seu potencial produtivo. Para manejar o solo de forma adequada, é preciso levar em consideração suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Um bom manejo do solo é aquele que proporciona boa produtividade ao mesmo tempo em que possibilita a manutenção de sua fertilidade, garantindo a produção agrícola no futuro.

4 | CONCLUSÕES

Não há condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento das culturas, considerando os resultados de densidade do solo, indicadora de compactação.

REFERÊNCIAS

Argenton J, Albuquerque JA, Bayer C, Wildner LP. **Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura.** Revista Brasileira Ciência do Solo, 29: 425-435, 2005.

Carvalho R, Goedert, WJ, Armando, MS. **Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39:1153-1155, 2004.

Doran JW, Parkin TB. **Defining and assessing soil quality**. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, DF, 2013.

Gualberto V, Mello CR, Nóbrega JCA. **O uso do solo no contexto agroecológico: uma pausa para reflexão**. Revista Informe Agropecuário, v. 24, n. 220, p. 18-28, 2003.

Klein VA. **Física do solo**. Passo Fundo: EDIUPF, 2008. 212p.

Leonardo HCL. **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacias hidrográficas do Rio Passo Cue, Região Oeste do Estado do Paraná**. Universidade de São Paulo, 2003. [Dissertação], Piracicaba: USP, 2003, 121p.

Martins SG, Silva MLN, Curi N, Ferreira MM. **Avaliação de atributos em um Latossolo Vermelho sob diferentes povoamentos florestais**. Cerne, 8:32-21, 2002.

Nunes LAPL. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG [Tese]**. Universidade Federal de Viçosa, 2003.

Reichert JM, Suzuki LEAS, Reinert DJ. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação**. In: Ceretta CA, Silva LS, Reichert JM. eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5. p. 49-134.

Sans.LMA. **Avaliação da qualidade do solo**. In: Oliveira TS, Assis RN, Romero RE, Silva JEC. (eds). Agricultura, sustentabilidade e o semiárido. Fortaleza, UFC, SBCS, 2000. p. 170-213.

Silva RR, Silva MLN, Ferreira MM. **Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande-MG**. Revista Ciência e Agrotecnologia, vol. 29, Lavras, julho 2005.

Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim técnico, 5).

Tormena CA, Silva AP, Liberdade PL. **Caracterização do intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Roxo sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22:573-581, 1988.

Tótola MR, Chaer GM. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 195-276.

EFFECTS OF SOIL, SPATIAL PARAMETERS AND FOLIAR PHENOLIC CONTENTS ON ENTOMOFAUNA VARIABILITY IN PEQUIZEIRO

Deomar Plácido da Costa

Instituto Federal Goiano
Ceres - Goiás

Gislene Auxiliadora Ferreira

Universidade Federal de Goiás, Escola de
Agronomia
Goiânia - Goiás

Suzana Costa Santos

Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química
Goiânia - Goiás

Pedro Henrique Ferri

Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química
Goiânia - Goiás

RESUMO: Variações na entomofauna das folhas de *Caryocar brasiliense* em onze populações do Cerrado central brasileiro foram analisadas utilizando-se os conteúdos de fenólicos totais, além de parâmetros edáficos e espaciais dos locais de coleta. Os insetos da ordem Coleoptera tiveram pouca ocorrência em folhas com teores elevados de fenóis e taninos totais. No entanto, esses insetos foram encontrados parasitando folhas de pequi em locais com os maiores teores de micronutrientes nos solos. Representantes das ordens Hymenoptera e Lepidoptera desenvolveram galhas em plantas com teores elevados de taninos totais e

condensados. A ordem Hemiptera apresentou distribuição homogênea, enquanto que insetos das ordens Neuroptera, Diptera e Orthoptera comportaram-se como visitantes, sem nenhum relacionamento com *C. brasiliense*, durante as observações de campo. A maioria (97,1%) da entomofauna foliar foi explicada baseando-se em dados edáficos, químicos e espaciais, como conjuntos preditores, com contribuições de 64,5%, 22,7% e 60,6% da variação total, respectivamente. A maioria da variância residual (2,9%) foi atribuída a antropização dos locais de amostragem.

PALAVRAS-CHAVE: *Caryocar brasiliense*, pequi, variabilidade química, solo degradado, insetos.

ABSTRACT: Leaf entomofauna variation in eleven *Caryocar brasiliense* populations from central Brazilian Cerrado was analyzed based on total phenolic contents, as well as edaphic and spatial parameters of the sampling sites. Insects of the order Coleoptera had low occurrence in leaves that showed high levels of total phenols and tannins. However, they were found in leaves of plants growing on soils with higher micronutrient contents. Insects of the orders Hymenoptera and Lepidoptera developed galls on plants with high levels of total and condensed tannins. Hemiptera showed a homogeneous distribution, whereas species of the orders

Neuroptera, Diptera, and Orthoptera behaved as visiting insects, without establishing any relationship with *C. brasiliense* during field observations. Approximately 97% of the entomofauna variability was explained by edaphic, chemical, and spatial data sets as predictor variables, whose contributions were 64.5%, 22.7%, and 60, 6% of the total variation, respectively. Most of the residual variance (2.9%) was attributed to the anthropization of sampling sites.

KEYWORDS: *Caryocar brasiliense*, pequi, chemical variability, soil degradation, insects.

1 | INTRODUCTION

The Cerrado biome occupies Brazil's central plateau and spans about a quarter of the country's territory. Different phytophysiognomic features, from grassland to forest formations, known by various local names, form a mosaic in the landscape (FRANCO; HARIDASAN, 2008). Despite Cerrado's status as a biodiversity hotspot which houses over 11,000 species of native plants, including 4,400 endemic species, only about 2.2% of its area enjoys legal protection (MARRIS, 2005). Central Brazilian Cerrado was severely fragmented and degraded by deforestation in the early 1950s, a process accelerated in the 1970s with the expansion of the agricultural frontier. An estimation by remote sensing shows that about 47.8% of Cerrado's original vegetation had been cleared by 2008, mainly due to cultivated pastures and agricultural crops. After the Atlantic Forest, Cerrado is the Brazilian biome that has suffered the greatest anthropogenic impacts, and it has been classified among the most threatened biomes in the world (SANO et al., 2010).

Caryocar brasiliense Camb., Caryocaraceae (pequi, pequiizeiro) is its regional symbol and predominates over other native fruit species in the Cerrado of State of Goiás. The occurrence of pequi may vary from 15 to 180 individuals per ha, playing a major role in the regional economy (VERA et al., 2005). The fruit pulp is edible after cooking and rich in vitamins, lipids, and proteins. It is used to flavour rice, with a strong presence in cooking as a substitute for oil and butter. In addition, it is used in cosmetics and in the production of soaps, creams, and sorbets. Pequi is also commonly used in traditional medicine as an antiseptic, applied to external bumps, bruises, and scarring (MENDES; CARLINI, 2007). Essential oils from its leaves and seeds have been reported to show antifungal activity against etiologic agents of human systemic mycosis (PASSOS et al., 2003; DAMIANI et al., 2009).

In State of Goiás, pequi's production is irregular; its plants suffer intense attack by insects that cause damage to trunks, flowers, fruits and leaves, limiting and compromising its production. A recent study on insect biodiversity in pequi identified 194 species of insects belonging to 72 families and 10 taxonomic orders (FERREIRA et al., 2009). These include species such as foraging ants, Hemiptera (aphids), caterpillars and insect galls. The species that attack the pequi are found on its leaves, shoots and stems,

forming galleries and scraping the fruit. Many of the insects found usually copulate and feed on the leaves, causing leaf area reduction, affecting plant photosynthesis and compromising the potential production of pequi fruits. Due to seasonal rainfall and the drought cycle in the Cerrado, insect fauna increases from September to November alongside the abundance of food. During this period, Hymenoptera, Coleoptera, Lepidoptera and Hemiptera insects are dominant, showing the highest rates in the Cerrado fauna, which coincides with pequi's flowering and ripening (SILVA; FRIZZAS; OLIVEIRA, 2011). Despite the entomofauna distribution of pequi has been described (LEITE et al., 2012; NEVES et al., 2012), it was related to different habitats or seasonal influences, and to our knowledge, no plant secondary metabolites and soil nutrient effects on insect variability have been reported for this tree yet.

Several studies have shown that the environment may have direct and indirect effects on insect assemblies. For example, phenol production and accumulation is one of the strategies involved in plant defense systems on biotic stress factors, such as herbivory or microbial infection. Soil characteristics, habitat types and management regimes also strongly influence invertebrate communities (LENARDIS et al., 2007).

In this study, chemical variability in total phenols, flavonoids and tannins of pequi leaves, as well as soil physicochemical characteristics and anthropization level of sampling sites were assessed to differentiate eleven populations of pequi from State of Goiás according to entomofauna distribution. Local and spatial insect variability patterns and factors associated with this variation may provide important information for insect control, management and adoption of conservation measures for pequi, as well as for better exploitation of this native Cerrado plant.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 Plant material

Leaf collection was performed from August 2004 to December 2006, in eleven pequi populations in State of Goiás in sampling sites exhibiting different soil degradation levels (Table 1).

	Site	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Declivity (%)	Anthropization degree
1	Morrinhos	17° 37' 51"	48° 48' 19"	683	9.0	total
2	Hidrolândia	16° 57' 35"	49°10' 53"	768	6.0	total
3	Paraúna	16° 50' 26"	50°38' 44"	725	6.0	median
4	Iporá	16° 25' 55"	51°02' 14"	497	3.0	total
5	Faina	15° 28' 44"	50°24' 11"	393	5.0	total
6	Araguapaz	15° 17' 58"	50°26' 27"	328	3.0	high
7	Mutunópolis	13° 37' 49"	49°13' 32"	382	4.0	very low
8	Formoso	13° 39' 36"	48°48' 37"	415	8.0	low
9	Alvorada do Norte	14° 30' 57"	46°34' 24"	517	1.0	low

10	Damianópolis	14° 34' 48"	46°12' 29"	780	2.0	low
11	Mambaí	14° 32' 05"	46°05' 36"	680	1.5	high

Table 1. Pequi collection with the location of populations in State of Goiás, Brazil

In each site, leaf samples were collected from plants found in the reproductive stage (with flowers or fruits). Leaves were collected from the four geographic quadrants of the canopy of at least four nearby trees, composing a single sample, which was repeated at least three times resulting in a total of 41 samples. The soil was also collected at a 0-20 cm depth in each population. A total of 17 physicochemical parameters were analyzed. The pH was determined in a 1:1 soil-water volume ratio. Ca^{2+} , Mg^{2+} and Al^{3+} were extracted with 1 mol L^{-1} KCl, and P, K^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} were extracted with Mehlich's solution. Concentrations of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , and Zn^{2+} were measured by flame atomic absorption spectrometry (AAS, Perkin Elmer), phosphorous was determined by spectrophotometry (DU-70 Spectrophotometer, Beckmann). Organic matter (OM), cationic exchange capacity (CEC), potential acidity ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), Al^{3+} , and soil texture were determined by applying the usual methods.

2.2 Plant extracts and metabolite quantifications

Leaves from each sampling site, previously dried at 29°C for 7 days and powdered (30 mesh), were twice subjected to total phenol extraction with ethanol-water (1:1) in the ultrasonic bath for 30 min. The extract was centrifuged at 4000 rpm (10 min) and the supernatant was transferred to a 25 mL volumetric flask. The extraction process was conducted in duplicate for each sample. Total phenols, flavonoids, total tannins, in addition to hydrolysable and condensed tannins were quantified according to techniques described in Pereira et al. (2017).

2.3 Statistical analyses

Analysis of variance (ANOVA) with populations as factor and Tukey as *post hoc* test was used to assess the average multiple comparisons. *p*-Values < 0.05 were considered significant. Analyses were performed in SAS using GLM procedure. Canonical correspondence analysis (CCA) was used to examine the relationship between the matrix of presence/absence insect species in the leaves (41 samples × 95 variables), representing a response matrix conditioned by soil (41 × 17; edaphic matrix) and foliar phenolic contents (41 × 5; chemical matrix), defined as environmental explanatory variables. CCA was performed in Canoco (LEPŠ; ŠMILAUER, 2012).

Significant soil variables (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , P, and silt) and leaf phenolic contents (total phenols, flavonoids, tannins, and hydrolysable tannins) were selected by forward stepwise selection using variable inflation factor ($\text{VIF} < 5$) as criteria for assessing multicollinearity in regressions. Subsequently, discriminant analysis (DA) was applied for the validation of natural sample clusters based on the first CCA's factorial

plane. Total variation partitioning (inertia) was performed with the response data and the chemical, edaphic, and spatial matrices as explanatory data sets using partial CCAs (pCCAs). Initially, the spatial matrix consisted of the two geographical coordinates of the Universal Transverse Mercator (UTM) system, altitude, and declivity of sampling sites, which were summarized for the first two axes of a principal component analysis (PCA). These new coordinates (x and y) were supplemented to the terms of a third-degree polynomial, which summarized linear trends (x , y , xy) and complex surfaces that require the quadratic (x^2 , y^2 , x^2y , xy^2) and cubic (x^3 , y^3) terms. After stepwise selection with VIF adjustments, significant monomials (x , yx^2 , xy , y^3 , y^2 , x^2) represented the final spatial matrix (41'6). The effect of anthropization on the entomofauna was subsequently obtained by the pCCAs of total inertia's first partitioning. Prior to the multivariate analyses, phenolic contents were transformed by $\log(x)$; soil macro and micronutrients by $\log(x+2)$, whereas organic matter, and texture underwent angular transformation. In addition, the entomofauna was downweighed to avoid the influence of rare insect species.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

The insects collected in pequi leaves totaled 95 species distributed in seven taxonomic orders. From these, 39 were identified to the genus level. Coleoptera showed the largest number of representatives (39%), followed by Hemiptera (27%), Hymenoptera (12.6%), Lepidoptera (9.4%), Orthoptera (6.2%), Diptera (3%), and Neuroptera (1.8%). However, when considering the insect fauna present in the whole plant, the order Hemiptera showed the highest (25.6%) species richness (FERREIRA et al., 2009). In a previous study (LEITE et al., 2012), the entomofauna of pequi from the State of Minas Gerais included insects belonging to Coleoptera and Hemiptera also showing the highest species richness (*ca.* 53%).

The texture of soil sampling sites showed clay (11-41%), silt (1-13%) and sand (46-78%) contents (Table 2), which confirm pequi's high plasticity.

Parameter	Soil sampling sites										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Clay ^a	37	34	11	24	24	27	37	30	17	14	14
Sand ^a	50	55	87	70	58	64	50	66	82	85	82
Silt ^a	13	11	2.0	6.0	8.0	9.0	13	4.0	1.0	1.0	4.0
pH	5.4	4.8	4.2	4.1	5.0	4.4	4.1	4.9	4.2	4.1	4.3
OM ^{a,d}	1.6	1.9	1.3	0.9	2.7	1.4	1.2	1.4	0.4	0.3	0.2
P ^b	2.3	2.7	2.3	1.8	4.7	3.7	2.3	2.3	8.2	3.2	2.3
K ^{+,b}	161	164	36	40	112	71	65	107	28	16	29
Cu ^{2+,b}	1.4	1.2	0.2	0.4	0.2	1.0	1.1	1.2	0.4	0.2	0.2
Fe ^{3+,b}	95.7	68.2	54.1	84.1	42.6	106.3	102.4	46.9	49.1	46.9	32.2
Mn ^{2+,b}	25.6	37.6	42.6	13.9	64.8	39	25.6	150.7	8.3	8.2	34.1
Zn ^{2+,b}	1.1	0.5	0.4	0.3	1.6	0.7	0.5	1.7	0.2	0.4	0.4

Ca ²⁺ ,c	2.7	1.8	0.2	0.9	2.8	1.6	0.8	1.7	0.9	0.2	0.7
Mg ²⁺ ,c	1.4	0.7	0.1	0.3	0.9	0.6	0.3	0.7	0.3	0.1	0.5
CEC ^{c,e}	7.0	6.8	2.9	5.6	7.1	5.9	5.6	6.6	4.4	3.1	4.4
H ⁺ +Al ³⁺ ,c	2.5	3.9	2.5	4.3	3.1	3.5	4.3	3.9	3.1	2.8	3.1
Al ³⁺ ,c	0.0	0.4	1.3	2.4	0.0	1.0	2.1	0.1	1.4	1.8	1.7

Table 2. Texture and physicochemical parameters of soil sampling sites

^a(%); ^b(mg L⁻¹); ^c(cmol_c L⁻¹); ^dOM = organic matter; ^eCEC = cationic exchange capacity; site codes (1-11): see **Table 1**.

These results agree with the wide distribution range in terms of soil quality and nutrient availability observed for *C. brasiliensis*. Soil pH was considered appropriate only in the Morrinhos (1) and Faina (5) populations. In most sites it was considered low and strongly acid (pH 4.1-4.9), a finding consistent with previous studies that indicate high acidity in the Cerrado soil (VERA et al., 2005). In general, soil samples showed low nutrient levels for plants, such as those of Ca²⁺ (0.2-2.8 cmol_c L⁻¹), P (1.8-8.2 mg L⁻¹) Mg²⁺ (0.1-1.4 cmol_c L⁻¹) and K⁺ (16-164 mg L⁻¹).

Total phenolic contents of pequi leaves are presented in Table 3. ANOVA results reveal broad variation in hydrolysable tannin contents (85.0 to 135.4 mg g⁻¹), with the lowest value found in the Damianópolis (10) samples. This sampled area also showed the lowest tannin contents in leaves (90.6 mg g⁻¹).

Site	Phenols	Flavonoids	Tannins	Condensed tannins	Hydrolyzable tannins
1	146.4 b	10.5 ab	96.6 ab	2.3 a	89.9 d
2	146.1 b	10.3 ab	108.8 ab	2.4 a	111.5 bcde
3	181.8 ab	12.3 ab	104.8 ab	3.4 a	100.1 cde
4	186.3 ab	13.4 ab	104.2 ab	2.6 a	106.9 bcde
5	201.6 ab	11.8 ab	127.8 a	2.5 a	135.4 a
6	202.7 ab	8.2 b	116.8 ab	2.5 a	117.7 abcd
7	189.1 ab	10.3 ab	130.9 a	2.8 a	127.9 ab
8	210.4 ab	11.7 ab	117.8 ab	2.3 a	126.3 abc
9	217.5 a	11.2 b	122.4 ab	2.3 a	132.4 ab
10	187.4 ab	15.5 a	90.6 b	2.7 a	85.0 e
11	188.5 ab	14.1 a	118.6 ab	2.5 a	113.6 abcd

Table 3. Phenolic contents (mg g⁻¹) of pequi leaves collected from eleven populations

Averages followed by small letters in the column did not share significant differences at 5% probability by Tukey's test; site codes (1-11): see **Table 1**.

Total phenols showed high levels in most samples (181.8 to 217.5 mg g⁻¹), except in the Morrinhos (1) and Hidrolândia (2) sites (mean 146.3 mg g⁻¹). Flavonoids showed the highest mean contents (14.8 mg g⁻¹) in the northeastern region of State of Goiás (Damianópolis (10) and Mambaí (11)), whereas no significant differences were obtained

in condensed tannins from leaves of different sampling sites.

As regards phenolic distribution, significant amounts were obtained in most samples, which showed low soil fertility. This finding may be accounted by the fact that phenolics were protecting leaves by acting as antioxidants. Thus, a higher concentration was required to protect leaves from abiotic stresses (INGERSOLL et al., 2010). Other studies on phenolic variation in Cerrado plant species have suggested that edaphic factors could strongly affect the amounts of phenolic contents in leaves (SANTOS et al., 2011). In this study, phenolic variations could also be related to leaf growth and development as well as to herbivore pressure. During leaf collecting, there were several flushes of new leaves in different populations, which coincide with the proliferation of insects. These two factors also have been important for influencing phenol variation in plants (SOLAR et al., 2006) such as *Quercus robur* L. (Fagaceae) and *Juglans regia* L. (Juglandaceae). Additionally, leaves under herbivore attack have shown an increase in the level of endogenous defenses, such as hydrolysable tannins (BARBEHENN et al., 2009).

CCA results show a strong correlation ($R = 0.976$) and 71.2% of variance in entomofauna can be explained by environmental variables. This variation fraction, ca. 41%, was retained in the first CCA's plane (Figure 1). Permutation test on the first two CCA axes and on the sum of the axes indicates that the data structure is highly significant ($p < 0.001$) i.e. not due to random effects.

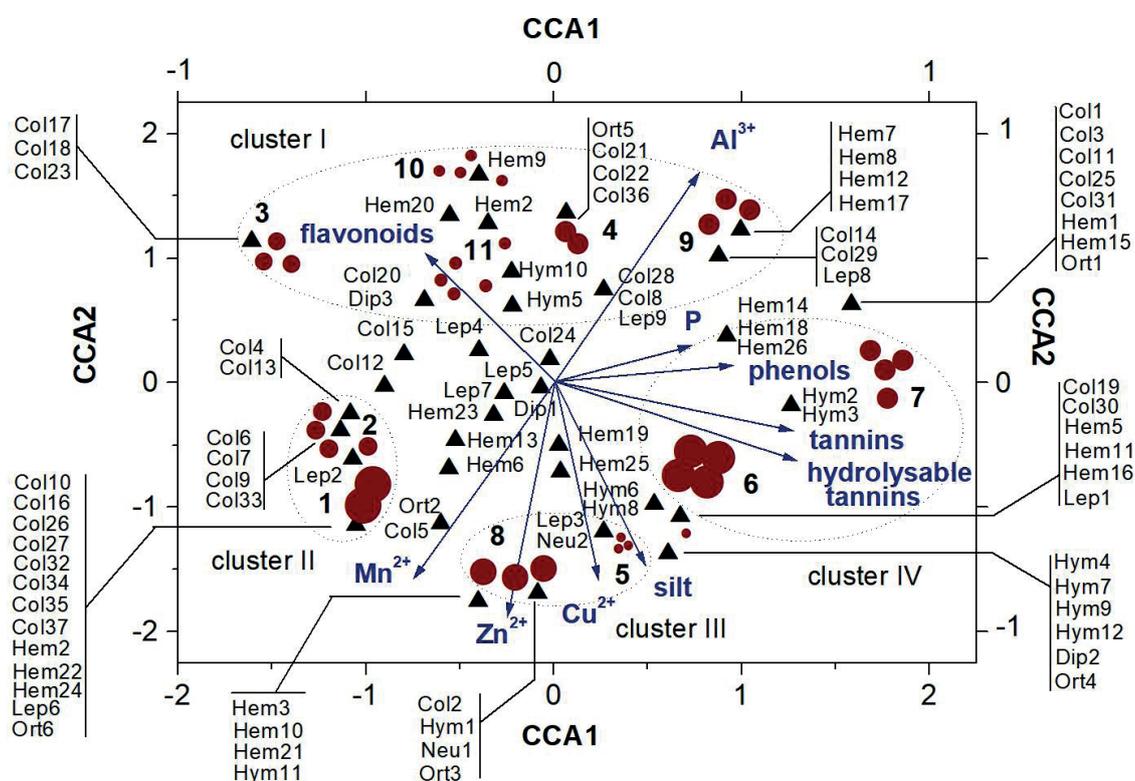


Figure 1. CCA triplot showing the leaf entomofauna (▲) of pequi samples (●), with the size corresponding to insect richness. Significant soil and foliar parameters are represented by vectors from the origin. Fitted variables (insects) whose values were < 20% are not shown: Col = Coleoptera; Hem = Hemiptera; Hym = Hymenoptera; Lep = Lepidoptera; Dip = Diptera; Neu = Neuroptera; Ort = Orthoptera. Site codes (1-11): see Table 1.

In Figure 1, an increase in the value of CCA1 (22.6% of total inertia) was associated mainly with an increase in total phenols, tannins and hydrolyzed tannins, as well as with decrease in flavonoid contents. On the other hand, an increase in the value of CCA2 (18.4% of the total inertia) was highly correlated with a decrease in soil micronutrients. Therefore, CCA1 mainly describes variability in foliar phenolics, whereas CCA2 is related to the soil fertility gradient of the sampling sites. CCA results also suggested greater insect richness in pequi populations located in soils rich in micronutrients (populations **1**, **2**, **6**, **7** and **8**). On the other hand, high phenolic content was correlated to greater insect richness of orders Hymenoptera and Hemiptera (populations **6** and **7**), whereas lower values of these chemical groups have been mainly related to Coleopteran insects (populations **1** and **2**).

Tannins and hydrolysable tannins revealed moderate relationships with Cu^{2+} and Zn^{2+} , while total phenols and flavonoid contents increased with the deficiencies of these micronutrients, mainly Cu^{2+} , and Mn^{2+} . Several works have reported the involvement of Cu^{2+} and Mn^{2+} in the shikimic acid pathway leading to the biosynthesis of phenolics (LIN; CHENG; LUI, 2005; GUANGQIU; CHONGLING; HAOLIANG, 2007). In plants with Cu^{2+} and Mn^{2+} deficiency lignification is impaired and phenolics accumulate in the plant tissues. A dose response effect of Cu^{2+} on foliar condensed tannins in seedlings of *Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco (Myrcinaceae) had been observed. At first tannins decreased with an increase in Cu^{2+} supply; however, when Cu^{2+} reached toxic levels the tannin concentration also increased. These results have shown that the biosynthesis of phenolics is dependent on Cu^{2+} and Mn^{2+} levels: in deficient tissues lignification is inhibited, then so the production of other phenolics is enhanced. When Cu^{2+} and Mn^{2+} achieve sufficient levels lignin biosynthesis increases, most likely using other phenolics as intermediates. The same negative trend in Zn^{2+} /flavonoids relationship also were described in *Citrus* leaves, whose flavonoid content increased with zinc-deficiency (MANTHEY et al., 2000). On the other hand, the flavonoid increase in very poor soil (populations **3**, **4** and **9-11**) may be attributed to a stress-type promotion as a response to Al^{3+} (FEUCHT et al., 1999).

Phytophagous insects belonging to the order Hemiptera presented a more homogeneous geographical distribution between sample collections, except in Paraúna (**3**), which showed an absence of insects from this order. This distribution suggests that both soil nutrients and foliar phenolic contents have little bearing on the dispersal of Hemiptera in pequi, a similar behaviour to that of generalist insects. This may also explain, at least partially, the predominance of this insect order in the entomofauna of *C. brasiliensis* from different Cerrado phytophysionomies (LEITE et al., 2012).

On the other hand, the order Hymenoptera showed galling insects associated with pequi from Araguapaz (**6**), especially in Eurytomidae (present in all sampled sites), Eulophidae and Torymidae. These insects have shown high specialization in plant community structure and have been characterized by their high incidence in plants that accumulate phenols and tannins (GONÇALVES-ALVIM; FERNANDES, 2001). Thus,

high tannin concentration in the galls could favour the survival of galling insects as it decreases the effectiveness of natural enemy attacks and the proliferation of fungi that can eliminate the gall (SCARELI-SANTOS; VARANDA, 2009). Similar results were observed in *Aspidosperma spruceanum* Benth. ex Müll. Arg. (Apocynaceae), on which the presence of Cecidomyiidae (Diptera) gall insects occurred during periods of the highest phenol concentration, suggesting that this chemical barrier could favour the protection of these insects (FORMIGA et al., 2009).

Ant species (*Cephalotes* spp. and *P. clavata*) were mainly found in Araguapaz (6) and showed preference for leaves with higher tannin content. A similar preference was observed for *Atta cephalotes*. The ability of ants' resistance to tannins may be associated with fungi cultivated by these insects, which are capable of polymerizing and inactivating the phenolics. According to Nichols-Orians (1991), the pattern in the distribution of *A. cephalotes* in plants is dependent on the amount of condensed tannins induced by solar stress (12.8 mg proanthocyanidin per gram of dry leaves). In the present work, condensed tannins (2.6 ± 0.3 mg of proanthocyanidins per gram of dry leaves) did not show any significant differences, thus suggesting the same magnitude in solar stress over *C. brasiliense* sampling sites.

In our field work, the ants were observed removing caterpillars, which can be partly responsible for the trend observed in these insect's distribution. In pequi, ants significantly reduced the infestation levels by the caterpillars, as *Eunica bechina*, especially in the vicinity of extrafloral nectars and establishing a defense mutualism (OLIVEIRA, 1997; ROSUMEK et al., 2009). Field study has shown that visiting ants can act as anti-herbivore agents and reduce leaf damage on trees of *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae) or may affect herbivorous fauna and masked the expected effects of tannin on herbivore richness and abundance in *Copaifera langsdorffii* Derf. (Caesalpiniaceae) leaves (COSTA et al., 2011).

Insects belonging to the orders Neuroptera, Diptera and Orthoptera were considered visitors (11% of entomofauna), without establishing any relationship with the plant during data collection (FERREIRA; VELOSO, 2009). The CCA triplot shows that these insects had higher selectivity for soils with higher micronutrient contents. Insects of the order Coleoptera showed a higher incidence in regions with the lowest levels of total and hydrolysable tannins, as well as in soils with higher micronutrients and lower aluminum contents. Morrinhos (1) and Hidrolândia (2) presented the highest number of beetles, and a reduction of pequi leaves caused by herbivory. Insects of this order show an association with the pequi, mating and feeding on its leaves (SILVA et al., 2011). Experiments conducted with *Clitoria fairchildian* R. A. Howard (Fabaceae) revealed that the tannins are relevant for inhibition and development of wood beetles in *C. fairchildian* trunks with higher tannin levels (LUNZ et al., 2007).

Chewing insects belonging to the orders Lepidoptera, Hymenoptera and Coleoptera showed a higher density at the bottom of the CCA triplot and strong correlations with Mn^{2+} and Zn^{2+} from soil sampling sites. These results agree with the factors involved

in jaw features. Jaws are extremely resistant to abrasion due to the incorporation of metals such as Zn^{2+} and Mn^{2+} in their cuticular cutting matrix. Up to 5% of Zn^{2+} was recorded in some jaws (RESH; CARDE, 2009). Insect larvae accumulate high concentrations of Cu^{2+} and Zn^{2+} , which are important micronutrients involved in various physiological insect processes. It has also been suggested that some metalloproteins, such as metallothionein, play important roles in the accumulation and storage of Cu^{2+} and Zn^{2+} in insects (PING; HUILING; WENSHENG, 2009).

The CCA triplot suggested four sample clusters, two of which (clusters III and IV) along the São Patrício Valley. These clusters were validated by discriminant analysis (DA) having hydrolysable tannins, flavonoids, Cu^{2+} , and Al^{3+} contents as predictor variables. In cluster III, Faina (5) and Formoso (8) reveals a more rugged relief with high amounts of Zn^{2+} and Cu^{2+} , whereas cluster IV (Araguapaz, 6, and Mutunópolis, 7) presents a slightly rough relief and acidic and nutrient-poor soils with high Al^{3+} contents. The anthropization degree was higher in 7 and Formoso (8) and considered lower for 5 and 6. On the other hand, Morrinhos (1) and Hidrolândia (2) (cluster II) were discriminated by moderated flavonoid contents. This sample collection was located near the highway BR-153, which may have favoured the spread of Coleoptera insects. Cluster I with samples from Paraúna (3), Iporá (4), Mutunópolis (7) and Mambaí (11) was characterized by low levels of soil micronutrients and the highest content of Al^{3+} and flavonoids. This group showed a lower incidence of insects when compared to the other clusters. Even though flavonoids contribute to plant resistance to insects (SIMMONDS, 2003), the limited availability of soil nutrients and low human disturbance at these sites may influence the behaviour of insect herbivores. In fact, pequi trees located in preserved Cerrado had lower richness and abundance of insect herbivores than those in pastureland or *Eucalyptus* plantations (NEVES et al., 2012).

The above results indicated that the entomofauna community in pequi leaves is at least partially controlled by chemical signals, which depend on plant-soil interactions. Similar results were reported for wheat and coriander, whose arthropods assemblies were ordered in relation to the volatile organic compounds (VOCs) emitted by crops (LENARDIS et al., 2007). Although a low percentage of the variance was explained by edaphic properties, soil micronutrients appeared as the main factors structuring the data. Other studies have shown the importance of the soil fertility management to induce change in crop insect assemblies (PERNER et al., 2005).

To quantify the influence of each environmental data set, the foliar entomofauna was submitted to variation partitioning through pCCAs. Variation partitioning decomposes the canonical variance (inertia) into canonical axes for each analysis, which can be tested on their statistical significance by the Monte Carlo permutation test. All fraction of variations was significant ($p < 0.03$) and the results are visualized by Venn diagram (Figure 2).

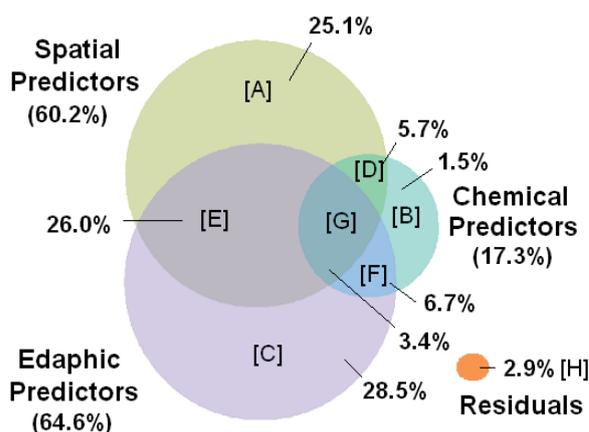


Figure 2. Venn diagram of variation partitioning of *C. brasiliense* entomofauna by partial CCAs.

Predictors: spatial data consisted of significant monomials (x , yx^2 , xy , y^3 , y^2 , x^2) of polynomial trend surface originated from the first two PCA axes of UTM coordinates, altitude and declivity of sampling sites. Soil data consisted of significant parameters (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , P, and silt) and chemical data of foliar phenolic contents.

Results show that 97.1% of total variation in the entomofauna data set ([A-G]) may be explained by predictor matrices, resulting in a model whose residue was 2.9% ([H]). It was observed that 72% of the insect's variability can be explained by soil characteristics and foliar phenolic contents ([B-G]). Although foliar phenolics offer a small pure contribution ([B] = 1.5%), it was significant ($p < 0.03$). On the other hand, incorporating the joint effects of foliar chemical contribution explained 17.3% ([B+D+F+G]) of the entomofauna variance in pequi leaves. The largest total contribution in explaining insect variability was given by edaphic parameters ([C+E+F+G] = 64.6%), with spatial factors explaining a quarter of the total inertia ([A] = 25.1%). Variation partitioning has been used to assess the contribution of edaphic and spatial factors associated with essential oils and phenolic contents of plants (DUARTE et al., 2012). Similarly to the work referred previously, the phenolic contents also showed greater influence of edaphic factors.

A difficulty in assessing the anthropogenic impacts on a biological community is to differentiate anthropogenic factors from responses to natural variations in environmental conditions. Theoretical models have been proposed to predict species' responses to anthropogenic influence along stressor gradients (MORRISEY et al., 2003). However, many studies have been based on species' responses to a single environmental or biological factor (POSTHUMA; SUTER; TRAAS, 2002). In the current study, the multivariate partitioning methodology was also applied to assess the human disturbance in the entomofauna variation of pequi (Table 4).

Effects and variables	Covariables	Variation fraction	Explained variation (%)	P^a
-----------------------	-------------	--------------------	-------------------------	-------

Total effect				
Soil-chemical-spatial, anthropization		[A+B+C]	99.97	0.001
Partial effects				
Anthropization	Soil-chemical-spatial	[A]	2.83	0.001
Soil-chemical-spatial	Anthropization	[C]	89.36	0.001
Joint effects				
Soil-chemical-spatial, anthropization		[B]	7.78	
Residuals		[D]	0.03	

Table 4. Anthropization influence in *C. brasiliense* entomofauna by partial CCAs

^aprobability on Monte Carlo permutation test (999 permutations); anthropization is represented by two levels (low and high). Spatial data consists of significant monomials (x , yx^2 , xy , y^3 , y^2 , x^2) of polynomial trend surface originated from the first two PCA axes of UTM coordinates, altitude and declivity of sampling sites. Soil data consisted of significant parameters (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , P, and silt) and chemical data of foliar phenolic contents.

The results showed that the anthropization degree accounts for 10.6% ([A+B]) of total insect variation. This finding is consistent with those that associate the highest occurrence and insect diversity of the Coleoptera order with the highest degree of disturbance of the integrity of the natural environment (LEITE et al., 2012; FAVERO; SOUZA; OLIVEIRA, 2011). Thus, the entomofauna of pequi could reflect specific environmental factors, its insect composition being influenced by soil parameters and foliar phenolic contents.

4 | CONCLUSION

The experimental approach used in this study allowed for the separation of the effects of soil nutrients and anthropization levels in sampling sites, and foliar phenolic contents on the entomofauna diversity of pequi leaves. Soil micronutrients, e.g. Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} and Al^{3+} , and foliar phenolic contents, particularly total phenols, tannins and hydrolysable tannins could be involved in insect assemblies. Based on these results, the entomofauna on *C. brasiliense* are, at least, partially controlled by chemical signals, which depended on plant-soil interactions. However, other factors, such as interspecific competition, predation, and parasitism may act together to shape the patterns of insect distribution. The results of this work provide a platform from which we can further pursue our understanding of chemical defenses in Cerrado plant species in relation to herbivory.

REFERENCES

BARBEHENN, R. V. et al. Hydrolyzable tannins as “quantitative defenses”: limited impact against *Lymantria dispar* caterpillars on hybrid poplar. **Journal of Insect Physiology**, v. 55, n. 4, 297-304,

2009.

CANONICAL COMMUNITY ORDINATION. Version 4.5. The Netherlands: Biometrics. 2002.

COSTA, F. V. et al. Relationship between plant development, tannin concentration and insects associated with *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). **Arthropod-Plant Interactions**, v. 5, n. 1, p. 9-18, 2011.

DAMIANI, C. et al. Volatile compounds profile of fresh-cut peki fruit stored under different temperatures. **Food Science and Technology**, v. 29, n.2, p. 435-439, 2009.

DUARTE, A. R. et al. Influence of spatial, edaphic and genetic factors on phenols and essential oils of *Myrciaria cauliflora* fruits. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 4, p. 737-746, 2012.

FAVERO, S.; SOUZA, H. A.; OLIVEIRA, A. K. M. Coleoptera (Insecta) as forest fragmentation indicators in the Rio Negro sub-region of the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 291-295, 2011.

FERREIRA, G. A. et al. Biodiversidade de insetos em Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) no cerrado do Estado de Goiás, Brasil. **Agrociência**, v. 2, n. 2, p. 14-31, 2009.

FEUCHT, W. et al. Effects of watersoluble boron and aluminium compounds on the synthesis of flavanols in grape vine callus. **Zeitschrift für Naturforschung**, v. 54c, p. 942-945, 1999.

Formiga, A. T. et al. Relações entre o teor de fenóis totais e o ciclo das galhas de *Cecidomyiidae* em *Aspidosperma spruceanum* Müll. Arg. (Apocynaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 93-99, 2009.

FRANCO, A. C.; HARIDASAN, M. Cerrado, In: SCARANO, F. R.; LUETTGE, U. (Ed.). **Tropical biology and conservation management**, v. 4. Oxford: UNESCO/EOLSS Publishers. 2008.

GONÇALVES-ALVIM, S.; FERNANDES, G. W. Comunidades de insetos galhadores (Insecta) em diferentes fisionomias do cerrado em Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 17, n. 1, p. 289-305, 2001.

GUANGQIU, Q.; CHONGLING, Y.; HAOLIANG, L. Influence of heavy metals on the carbohydrate and phenolics in mangrove, *Aegiceras corniculatum* L., seedlings. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 78, n. 6, p. 440-444, 2007.

INGERSOLL, C. M. et al. Total phenolics and individual phenolic acids vary with light environment in *Lindera benzoin*. **Botany**, v. 88, n. 11, p. 1007-1010, 2010.

LEITE, G. L. D. et al. Seasonal damage caused by herbivorous insects on *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) trees in the Brazilian savanna. **Revista Colombiana de Entomologia**, v. 38, n. 1, p. 108-113, 2012.

LENARDIS, A. E. et al. Plant-soil interactions in wheat and coriander crops driving arthropod assemblies through volatile compounds. **European Journal of Agronomy**, v. 26, n. 4, p. 410-417, 2007.

LEPŠ, J.; ŠMILAUER, P. **Multivariate analysis of ecological data using canoco**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

LIN, C. C.; CHEN, L. M.; LIU, Z. H. Rapid effect of copper on lignin biosynthesis in soybean roots. **Plant Science**, v. 168, n. 3, p. 855-861, 2005.

LUNZ, A. M. et al. Prospecção fitoquímica de três leguminosas e associação com incidência de

- coleópteros xilófagos. **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 6-13, 2007.
- MANTHEY, J. A. et al. Changes in citrus leaf flavonoid concentrations resulting from blight-induced zinc-deficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 38, n. 4, p. 333-343, 2000.
- MARRIS, E. Conservation in Brazil: the forgotten ecosystem. **Nature**, v. 437, n. 7061, p. 944-945, 2005.
- MENDES, F. L.; CARLINI, E. A. Brazilian plants as possible adaptogens: an ethnopharmacological survey of books edited in Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 109, n. 3, p. 493-500, 2007.
- MORRISEY, D. J. et al. Factors affecting the distribution of benthic macrofauna in estuaries contaminated by urban runoff. **Marine Environmental Research**, v. 55, n. 2, p. 113-136, 2003.
- NEVES, F. S. et al. Differential effects of land use on ant and herbivore insect communities associated with *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). **Revista de Biologia Tropical**, v. 60, n. 3, p. 1065-1073, 2012.
- NICHOLS-ORIAN, C.; Differential effects of condensed and hydrolyzable tannin on polyphenol oxidase activity of attine symbiotic fungus. **Journal of Chemical Ecology**, v. 17, n. 9, p. 1811-1819, 1991.
- OLIVEIRA, P. S. The *ecological function* of extrafloral nectaries: herbivore deterrence by visiting ants and reproductive output in *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). **Functional Ecology**, v. 11, n. 3, p. 323-330, 1997.
- PASSOS, X. S. et al. Composition and antifungal activity of the essential oils of *Caryocar brasiliensis*. **Pharmaceutical Biology**, v. 41, n. 5, p. 319-324, 2003.
- PEREIRA, L. D. et al. Polyphenol and ellagitannin constituents of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) and chemical variability at different stages of fruit development. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 6, p. 1209-1219, 2017.
- PERNER, J. et al. Effects of plant diversity, plant productivity and habitat parameters on arthropod abundance in montane european grasslands. **Ecography**, v. 28, n. 4, p. 429-442, 2005.
- PING, Z.; HUILING, Z.; WENSHENG, S. Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: field study. **Journal of Environmental Sciences**, v. 21, n. 6, p. 849-853, 2009.
- POSTHUMA, L.; SUTER, G. W.; TRAAS, T. P. **Species sensitivity distributions in ecotoxicology**. Boca Raton: Lewis Publishing. 2002.
- RESH, V. H.; CARDE, R. T. **Encyclopedia of insects**. 2 ed. London: Elsevier. 2009.
- ROSENTHAL, G. A.; BERENBAUM, M. R. **Herbivores, their interaction with secondary plant metabolites**. 2th ed. San Diego: Academic Press. 1991.
- ROSUMEK, F. B. et al. Ants on plants: a meta-analysis of the role of ants as plant biotic defenses. **Oecologia**, v. 160, n. 3, p. 537-549, 2009.
- SANO, E. E., et al. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, 2010.
- SANTOS, R. M. et al. Variação sazonal nos teores de fenóis de folhas de *Eugenia uniflora* L. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. 1, p. 85-89, 2011.

SCARELI-SANTOS, C.; VARANDA, E. M. Interações nutricionais em dois sistemas inseto galhador-planta hospedeira no cerrado. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, p. 376-381, 2009.

SILVA, N. A. P.; FRIZZAS, M. R.; OLIVEIRA, C. M. Seasonality in insect abundance in the “Cerrado” of Goiás State, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 1, p. 79-87, 2011.

SIMMONDS, M. S. J. Flavonoid-insect interactions: recent advances in our knowledge. **Phytochemistry**, v. 64 n. 1, p. 21-30, 2003.

SOLAR, A. et al. Seasonal variations of selected flavonoids, phenolic acids and quinines in annual shoots of common walnut (*Juglans regia* L.). **Plant Science**, v. 170, n. 3, p. 453-461, 2006.

VERA, R. et al. Caracterização física de frutos do pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 2, p. 71-79, 2005.

EFICIÊNCIA DE AQUISIÇÃO DE NUTRIENTES DO CAPIM-TIFTON 85 ADUBADO COM DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS

Alexandra de Paiva Soares

Instituto Federal de Mato Grosso, Campus São Vicente, Santo Antônio do Leverger-MT

Oscarlina Lúcia dos Santos Weber

Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Departamento de solos e Engenharia Rural, Cuiabá, MT.

Cristiane Ramos Vieira

Universidade de Cuiabá, Faculdade de Agronomia.

RESUMO: A eficiência de aquisição de nutrientes pode ser definida pela diferença entre a quantidade de nutrientes absorvidos e a quantidade de nutrientes aplicados. O dejetos líquido de suíno (DLS) contém nutrientes que contribuem para redução do uso de fertilizantes minerais se tornando uma alternativa na adubação de pastagens. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de aquisição de nutrientes pelo capim Tifton 85 cultivado em solo adubado com DLS. O experimento foi realizado em Lucas do Rio Verde- MT, Brasil, utilizando blocos ao acaso, sendo quatro doses de DLS (0, 10, 20, 30 m³ ha⁻¹) e um tratamento com adubação mineral. Foram realizadas dez aplicações de DLS e sete cortes. O material vegetal coletado foi analisado para determinação dos teores dos macro e micronutrientes. A eficiência de aquisição de

nutrientes foi calculada pela diferença entre a quantidade (kg) de nutriente absorvido e a quantidade (kg) de nutriente aplicado. Não houve interação entre as doses de DLS e os teores de macronutrientes e de micronutrientes, no entanto, houve diferença entre os teores de micronutrientes em função da dose utilizada. A maior eficiência de aquisição foi apresentada pelo Cu que se igualou ao Fe, e a menor eficiência ocorreu para o Mn, enquanto a eficiência do Zn foi considerada intermediária. A ordem de eficiência de aquisição para macronutrientes pelo Tifton-85 foi: K>Mg=N>P=Ca=S e para micronutrientes: Fe> Cu = Zn =Mn. A dose mais eficiente de DLS, que pode ser utilizada como fonte de nutrientes foi de 200 m³ ha⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Água residuária de suinocultura, esterco e biofertilizante.

ABSTRACT: The efficiency of nutrient acquisition can be defined by the difference between the amount of nutrient absorbed and the amount of nutrient applied. Swine liquid slurry (DLS) contains nutrients that contribute to the reduction of the use of mineral fertilizers, becoming an alternative in pasture fertilization. The objective of this research was to evaluate the efficiency of nutrient acquisition by Tifton 85 grass, cultivated in soil fertilized with DLS. The experiment was conducted in Lucas do Rio Verde – MT, Brazil, using randomized blocks,

with four DLS doses (0, 10, 20, 30 m³ ha⁻¹) and a treatment with mineral fertilization. Ten applications of DLS and seven cuts were performed. The collected plant material was analyzed for macro and micronutrient contents determinations. The efficiency of nutrient acquisition was calculated by the difference between the amount (kg) of nutrient absorbed and the amount (kg) of nutrient applied. No interaction was observed between the DLS doses and macronutrients contents. About the micronutrients, there was no interaction between micronutrients contents and DLS doses, but, there were differences between micronutrients in function of the dose used. The highest efficiency of acquisition was presented by Cu that was equal to Fe, and the lower efficiency occurred for Mn, while the efficiency of Zn was considered intermediate. The order of efficiency of macronutrients acquisition by Tifton-85 was: K > Mg = N > P = Ca = S and about micronutrients: Fe > Cu = Zn = Mn. The most efficient DLS dose that can be used as a nutrient source was 200 m³ ha⁻¹.

KEYWORDS: Swine wastewater, manure and biofertilizer.

1 | INTRODUÇÃO

A eficiência de aquisição de nutrientes pode ser definida pela relação entre a quantidade de nutrientes absorvidos pela quantidade de nutrientes aplicados, mostrando uma relação de aproveitamento e ou aquisição por parte da planta daquilo que foi ofertado com vistas a garantir um fornecimento equilibrado evitando desperdícios e possibilidades de contaminação.

O cultivar Tifton 85 é um híbrido interespecífico (*Cynodon* spp.), que se destaca pela elevada produção de massa seca (Fagundes, 1999) e elevada qualidade nutricional, desde que bem manejado e adubado. A aplicação de resíduos de animal é uma forma de baratear os custos de produção, o dejetos líquido de suíno (DLS) contém nutrientes que contribuem para redução do uso de fertilizantes minerais (Cabral, 2011) e tem se tornado uma alternativa na adubação de pastagens de forma a minimizar os impactos gerados com seu descarte no ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de aquisição de nutrientes pelo capim Tifton 85 cultivado em solo adubado com dejetos líquido de suíno.

2 | METODOLOGIA

O experimento foi realizado em Lucas do Rio Verde- MT, em blocos ao acaso, tendo como tratamentos quatro doses de DLS (0, 10, 20, 30 m³ ha⁻¹) e um tratamento com adubação mineral. Foram realizadas dez aplicações de DLS e sete cortes. O material vegetal coletado foi pesado para obtenção da massa seca, e analisado para determinação dos teores dos macro e micronutrientes.

A eficiência de aquisição de nutrientes foi calculada por meio da quantidade de nutriente absorvido, em kg, com aplicação de dejetos, menos kg de nutriente absorvido

sem aplicação de dejetos, dividido por kg de nutriente aplicado na forma de dejetos.

Foi realizada análise de variância com os resultados da eficiência de aquisição de nutrientes e aplicado o teste de Scott-Knott a 5% (Silva e Azevedo, 2009).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre as doses de DLS e os macronutrientes, as doses foram iguais entre si. Considerando as médias entre os macronutrientes a sequência de eficiência de aquisição do maior para o menor foi: K>Mg=N>P=Ca=S (Tabela 1).

Doses de DLS	de (m ³ ha ⁻¹)	Macronutrientes						Média/Dose
		N	P	K	Ca	Mg	S	
100		7,7	3,3	18,4	2,6	8,0	2,9	7,2 A
200		7,1	1,9	20,7	1,1	9,4	0,7	6,8 A
300		7,5	1,5	19,6	2,1	7,0	0,7	6,4 A
Média		7,5 b	2,2 c	19,6 a	1,9 c	8,1 b	1,4 c	

Tabela 1 Eficiência de aquisição de macronutrientes (%) no Capim-Tifton 85 adubado com doses de dejetos líquidos de suíno (m³ há⁻¹) em macronutrientes

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. Foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Foi significativo p<0.01 para nutrientes e não significativo (p>0,05) para doses e interação. Coeficiente de variação 32.90%.

Quanto à eficiência de aquisição de micronutrientes pelo Capim-Tifton 85 adubado com DLS, não houve interação entre micronutrientes e doses, no entanto houve diferenças entre os micronutrientes e as doses. Considerando as médias entre os nutrientes, a maior eficiência de aquisição foi apresentada pelo cobre que se igualou ao ferro, enquanto que a menor eficiência de aquisição ocorreu para o manganês, sendo a eficiência do zinco intermediária.

Em relação às doses de DLS a maior eficiência de aquisição foi obtida na dose de 200m³ ha⁻¹ enquanto que as doses de 100 e 300 m³ ha⁻¹ apresentaram eficiências de aquisição iguais. A ordem de eficiência de aquisição para macronutrientes pelo Tifton-85 é: K>Mg=N>P=Ca=S e para micronutrientes a sequência é : Fe> Cu = Zn =Mn (Tabela 2).

Doses de DLS (m ³ ha ⁻¹)	Micronutrientes				Médias/Dose
	Mn	Cu	Zn	Fe	
100	7,0	48,2	30,4	41,7	31,8 B
200	14,9	54,7	28,6	55,3	38,4 A
300	7,9	45,7	26,5	40,2	30,1 B
Médias	9,9 c	49,5 a	28,5 b	45,7 a	

Tabela 2 Eficiência de aquisição de micronutrientes (%) no Capim-Tifton 85 adubado com doses de dejetos líquidos de suíno (m³ há⁻¹).

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. Foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Foi significativo $p < 0.01$ para nutrientes e doses e não significativo ($p > 0,05$) para interação. O CV = 29,23%. ⁽¹⁾

4 | CONCLUSÃO

A dose mais eficiente como fonte de nutrientes é a de 200 m³ ha⁻¹ de DLS.

A eficiência de aquisição de nutrientes do Tifton 85 é a mesma para os macronutrientes em todas as doses de DLS e a sequencia é: K>Mg=N>P=Ca=S; A maior eficiência de aquisição, para os micronutrientes, ocorre com o volume de 200 m³ ha⁻¹ de DLS e a sequencia é: Fe>Cu=Zn=Mn.

REFERÊNCIAS

CABRAL, J. R.; Freitas, P. S. L.; Rezende, R.; Muniz, A. S.; Bertonha, A.. **Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.15, n.8, p.823–831, 2011.

FAGUNDES, J.L.; SILVA, S.C. DA; PEDREIRA, C. G.S. **Intensidades de pastejo e a composição morfológica de pasto de cynodon spp**. Scientia Agrícola, Piracicaba-SP, V.56, n.4, 1999.

SILVA, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

ESTRATÉGIA NA SELEÇÃO DE MILHO QUANTO A EFICIÊNCIA AO NITROGÊNIO NO ESTADO DO PARÁ SAFRA 2017/2018

Weder Ferreira dos Santos

Universidade Federal do Tocantins, Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia
Gurupi – TO

Elias Cunha de Faria

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

Layanni Ferreira Sodré

Universidade Federal do Tocantins, Licenciatura em Química
Gurupi – TO

Rafael Marcelino da Silva

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

Eduardo Tranqueira da Silva

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

Fernando Assis de Assunção

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

Lázaro Tavares da Silva

Universidade Federal do Tocantins, Agronomia
Gurupi – TO

RESUMO: O presente trabalho tem com o objetivo a seleção em genótipos de milho quanto a sua eficiência ao uso do nitrogênio no Estado do Pará. O experimento foi realizado no Sul do Pará, Município Santa Maria das Barreiras, Sítio Vitória, sendo um instalado sob condições de alto nitrogênio (150 kg ha⁻¹

de N) e uma sob baixo nitrogênio (0 kg ha⁻¹ de N). O delineamento experimental utilizado, em cada ensaio, foi de blocos ao acaso com 11 tratamentos e três repetições, com análise para o rendimento de grãos. Para identificar genótipos eficientes quanto ao uso do nitrogênio, utilizou-se a metodologia proposta por Fageria & Kluthcouski. Os genótipos de milho W1, W4, W5 e W6, são classificados como eficientes no uso de nitrogênio.

PALAVRAS-CHAVE: adubação nitrogenada, região Norte, *Zea mays*.

1 | INTRODUÇÃO

No Estado do Pará, a cultura do milho obteve uma produtividade média de 3.284 kg ha⁻¹ na safra 17/18 (safra), com a produtividade maior do que a região norte (3268 kg ha⁻¹) e menor produtividade à média nacional (5295 kg ha⁻¹ na safra 17/18) (CONAB, 2018). Isso ocorre devido as condições climáticas, a escassez de programas de melhoramento do milho regionais, a falta de seleção de genótipos para o nível tecnológico das propriedades e para o uso eficiente de nutrientes (BORÉM et al., 2015; Conab, 2016; Santos et al., 2016).

Atualmente com a preocupação de aumentar a produção para alimentar a população

crescente, reduzir seus custos e ao mesmo tempo construir um sistema de agricultura sustentável, a obtenção de genótipos com maior eficiência ao uso do nitrogênio (EUN) tem sido uma meta almejada pelos pesquisadores e produtores (SANTOS et al., 2017).

O N é um dos minerais mais importantes para o crescimento e produção da planta, onde é de grande importância para o aumento da produtividade na cultura do milho. É considerada exigente em nutrientes e o suprimento em quantidade adequada é um ponto chave para aumentar a produtividade desta cultura (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000).

Fageria & Baligar (1993) desenvolveram metodologia específica para estresse mineral aplicáveis ao melhoramento de plantas, para a seleção de plantas eficientes ao uso dos nutrientes e responsivas à sua aplicação. Visando obtenção desses genótipos eficientes vários estudos têm sido realizados (SANTOS et al., 2016; SODRÉ et al, 2016). No entanto, faz-se necessário maior aprofundamento desses trabalhos principalmente para cultura milho nas condições do Estado do Pará.

Tendo isso em vista, o seguinte trabalho tem como objetivo analisar a eficiência do nitrogênio para o aumento da produtividade de milho no Sul do Estado do Pará.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

No ano de 2018, foi realizado dois ensaios de milho na propriedade rural Sítio Vitória, Município de Santa Maria das Barreiras, Estado do Pará. Sendo um ensaio instalado sob condições de Alto N (150 kg ha^{-1} de N) e outro ensaio sob Baixo N (0 kg ha^{-1} de N). A semeadura foi realizada em 14 de Novembro de 2017.

O delineamento experimental utilizado, em cada ensaio, foi de blocos ao acaso com 10 tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos de 10 genótipos, sendo todos de polinização aberta (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10 e W11), oriundos de programas de melhoramento genético da UFT.

A parcela experimental foi composta por quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,90m entre as linhas. Na colheita, foram utilizadas as duas linhas centrais de cada fileira, descartando-se 0,50m das extremidades das fileiras.

Foram realizadas as operações de aração, gradagem e sulcamento. O plantio das sementes e a adubação no sulco de semeadura foram efetuados manualmente. A adubação de pré-plantio foi realizada utilizando 300 kg ha^{-1} de NPK e ZN, para todos os ensaios, sendo os demais tratos culturais efetuados assim que se fizeram necessários conforme exigência da cultura.

A adubação nitrogenada em cobertura, nos experimentos de safra e entressafra foi de 0 e 150 kg ha^{-1} , respectivamente, proporcionando totais de 15 e 165 kg ha^{-1} , para os ambientes de baixo e alto N, parcelada em duas aplicações, sendo realizada no estádio V4 e V8 (quatro e oito folhas completamente abertas), tendo como fonte de N a ureia (43% de N). A adubação no ambiente de baixo e alto N corresponde a menor e a maior faixa esperada de produtividade de grãos.

Os tratos culturais, como o controle fitossanitário contra doenças, pragas e

plantas daninhas foram realizados seguindo as recomendações técnicas da cultura. Foi realizada irrigação suplementar para os ensaios conduzidos na entressafra, sempre que necessária.

Nas duas fileiras centrais, de cada parcela, foram colhidas as espigas, no estágio R6 (maturidade fisiológica). Em seguida, as espigas foram debulhadas e os grãos acondicionadas em saco de papel, o qual foi identificado por genótipo, e transportado para o Laboratório de Pesquisa Agropecuária da Universidade Federal do Tocantins - Campus de Palmas. O rendimento de grãos (RG) (massa de grãos de cada parcela corrigida para 13% de umidade e transformada em kg ha⁻¹).

Para identificar genótipos eficientes quanto ao uso do nitrogênio (N) e responsivos à sua aplicação, utilizou-se a metodologia proposta por Fageria & Kluthcouski (1980). Por esta metodologia, a eficiência correspondeu à média de RG de cada genótipo em Baixo N. A resposta a aplicação do nutriente, para cada genótipo, foi oriunda da diferença de rendimento nos dois níveis de nitrogênio (Alto e Baixo N) dividido pela diferença entre os níveis de N utilizados em cobertura.

Após serem tabulados, os dados de RG foram submetidos ao teste de normalidade. Em seguida, foi realizada análise de variância para cada ensaio (nível de N) e, em seguida, análise conjunta seguindo o critério da homogeneidade dos quadrados médios residuais dos ensaios.

As médias dos genótipos, ambientes e dos índices de eficiência e resposta, foram comparadas pelo teste de grupos de Scott & Knott (1974), a 5% de significância.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Computacional SISVAR (Ferreira, 2011).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta (Tabela 1) revelou efeito significativo ($p < 0,05$). O coeficiente de variação (CV), indica boa precisão na condução dos ensaios, segundo classificação proposta por Pimentel-Gomes (2009).

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Ensaio	1	150372586,40*
Genótipos	10	12088429,81*
Ensaio*Genótipo	10	3024721,41*
Blocos(Ensaio)	4	91516,96
Erro	40	174491,84
CV (%)		7,5
Média		5567

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para aumento da produtividade de grão, e para a eficiência e resposta, de 11 genótipos de milho, cultivadas em dois ensaios (diferentes níveis de nitrogênio), na safra 17/18, Estado do Pará.

*: significativo pelo teste F a 5% de significância.

A produção de grão (Tabela 2) variou de 2.426 kg ha⁻¹ (Baixo N; W7) a 9.944

kg ha⁻¹ (Alto N; W3), valor muito significativo em Alto N, considerado a média de produtividade do Estado do Pará (3284 kg ha⁻¹ na safra 17/18) e na região norte (3268 kg ha⁻¹) (Conab, 2018).

Genótipos	PG (kg ha ⁻¹)				
	Baixo N	Alto N	Média	Diferença	Resposta
W1	5411 Ba	9325 Aa	7368 a	3915	26,1
W2	3228 Bd	6117 Ac	4672 c	2889	19,3
W3	3831 Bc	9944 Aa	6888 a	6114	40,8
W4	4602 Bb	6925 Ab	5763 b	2323	15,5
W5	5225 Ba	9528 Aa	7376 a	4303	28,7
W6	5457 Ba	9006 Aa	7232 a	3549	23,7
W7	2426 Bd	5216 Ad	3821 d	2790	18,6
W8	3731 Bc	4539 Ad	4135 d	809	5,4
W9	2742 Bd	5214 Ad	3978 d	2471	16,5
W10	4052 Bc	5817 Ac	4934 c	1766	11,8
W11	3926 Bc	6206 Ac	5066 c	2280	15,2
Média	4057 B	7076 A	5567		20,1

Tabela 2. Médias de rendimento da produtividade (kg ha⁻¹) em 11 genótipos de milho cultivados dois níveis de N na safra 17/18, Estado do Pará.

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de Scott & Knott (1994), a 5% de significância. Alto N = 150 kg ha⁻¹; Baixo N = 0 kg ha⁻¹

Já no ensaio de Baixo N (BN) (Tabela 2), foram formados quatro grupos, com os genótipos W1 (5411 kg ha⁻¹), W5 (5225 kg ha⁻¹) e W6 (5457 kg ha⁻¹) no grupo com as maiores médias de produtividade, e no grupo com as menores médias de produtividade os genótipos W2 (3228 kg ha⁻¹), W7 (2426 kg ha⁻¹) e W9 (2742 kg ha⁻¹).

Foram formados quatro grupos de médias em Alto N (AN) (Tabela 2), Santos et al. (2017) encontrou em seu trabalho quatro grupos de médias para o ensaio de Alto N. Variando de 4539 kg ha⁻¹ (W8) a 9944 kg ha⁻¹ (W3), Santos et al. (2017) apresenta intervalos de 4600kg ha⁻¹(P36-19) a 7141kg ha⁻¹.

O primeiro grupo com as maiores médias os genótipos W1 (9325 kg ha⁻¹), W3 (9944 kg ha⁻¹), W5 (9528 kg ha⁻¹) e W6 (9006 kg ha⁻¹), no segundo grupo apenas o genótipo W4 (6925 kg ha⁻¹), e no terceiro grupo os genótipos W2 (6117 kg ha⁻¹), W10 (5817 kg ha⁻¹) e W11 (5066 kg ha⁻¹) e as menores médias dos genótipos foram W7(5216 kg ha⁻¹), W8 (4539 kg ha⁻¹), W9 (5214 kg ha⁻¹).

Os genótipos W1, W5 e W6 são os que obtiveram as maiores produtividades nos dois ensaios, podendo ser indicado para os dois ambientes de cultivo. E os genótipos W7 e W9 apresenta as menores produtividade para os dois ensaios.

Na média geral dos genótipos (Tabela 2), apresenta quatro grupos de médias, variando de 3821 kg ha⁻¹ (W7) a 7376 kg ha⁻¹ (W5). No grupo com as maiores médias os genótipos W1 (7368 kg ha⁻¹), W3 (6888 kg ha⁻¹), W5 (7376 kg ha⁻¹) e W6 (7232 kg ha⁻¹). Já no grupo com as menores médias os genótipos W7 (3821 kg ha⁻¹), W8 (4135 kg ha⁻¹) e W9 (3978 kg ha⁻¹), estas produtividade são superiores à média de

produtividade do Estado do Pará (3284 kg ha⁻¹ na safra 17/18) (Conab, 2018).

O rendimento de grãos (Tabela 2) foi significativamente maior no ensaio de Alto N comparando ao de Baixo N, com médias de 7076 kg ha⁻¹ e 4057 kg ha⁻¹, respectivamente. O que demonstra incremento geral de produtividade em função da adubação nitrogenada (Cancellier et al., 2011).

A metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980) (Figura 1), específica para estresse mineral, identificou como EUN, os genótipos de milho W1, W4, W5 e W6, pois apresentaram as maiores médias de produtividade de grãos em Baixo N e, portanto, estão representados no primeiro e quarto quadrantes da Figura 1.

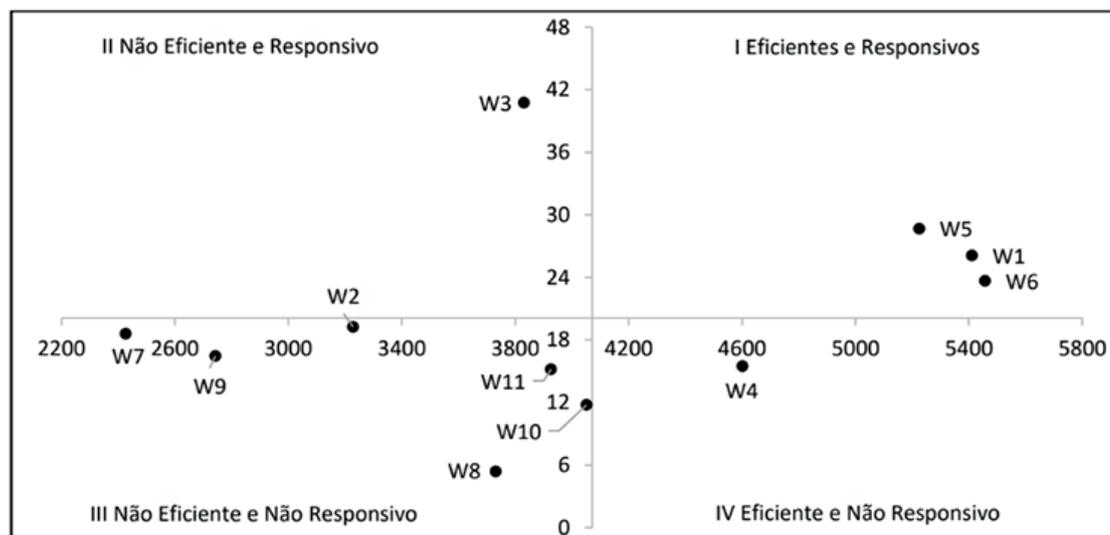


Figura 1. Eficiência no uso e resposta à aplicação de nitrogênio em genótipos de milho.

A eficiência desses genótipos em relação aos demais, na absorção e utilização de N na produção de grãos, permite inferir que os processos associados à absorção, translocação, assimilação e redistribuição de N são mais eficientes do que nos demais genótipos (Fidelis et al., 2014). Desta forma, estes genótipos podem vir a constituir um banco de germoplasma visando à obtenção de fontes genéticas para maior eficiência ao nutriente. Estes resultados corroboram os obtidos por Santos et al. (2016), Santos et al. (2017) e Sodr e et al. (2016), utilizando a mesma metodologia, identificou materiais de milho eficientes quanto ao uso de N.

As diferenças apresentadas entre os genótipos, em relação aos demais, na absorção e utilização de N para aumento da produtividade, pode ser explicada pela expressão ou não dos alelos favoráveis presentes nos genótipos, que resultam em uma melhor absorção e aproveitamento do N no desenvolvimento da planta (Santos et al., 2017).

Em relação a resposta à aplicação de N, quatro genótipos W1, W3, W5, e W6 destacaram-se por apresentarem os maiores índices, estando, portanto, representados no primeiro e segundo quadrantes (Figura 1). Destes, merece destaque o genótipo W3 que apresenta, valor de índice de resposta 40,8 (Tabela 2).

Ressalta-se que W1, W5 e W6 além de responsivos, também foram apontados como mais EUN mesmo em concentrações moderadamente baixas, o que demonstra adaptação destes em ambientes de baixa e alta disponibilidade de N (Primeiro Quadrante Figura 1). Genótipos deste quadrante pode ser indicados para dois níveis de cultivo, seja para agricultura familiar (baixo nível tecnológico) ou empresarial (alto nível de tecnologia) (Santos et al., 2017).

Por outro lado, o genótipo W3 por ter apresentado baixa produtividade em Baixo N foi considerado como não eficiente, porém teve caracterizado sua condição de material responsivo (Segundo Quadrante da Figura 1). Este genótipo é indicado para ser utilizado por agricultores que dispõem de nível tecnológico elevado (Santos et al., 2017).

Os genótipos W2, W7, W8, W9, W10 e W11 por terem apresentado baixa produtividade no ambiente Baixo N (inferior à média do genótipos, ou seja, 4057 kg ha⁻¹) e também por terem apresentado baixos índices de resposta a aplicação de N (inferior a 20,1) foram considerados não eficientes e não responsivos (Terceiro Quadrante da Figura 1). Genótipos deste quadrante não são recomendados para semeaduras em propriedades agrícolas, nem mesmo para aqueles que utilizam baixo nível tecnológico (Santos et al., 2017).

O genótipo W4 por ter apresentado alta produtividade no ambiente Baixo N (acima da média geral, ou seja, 4057 kg ha⁻¹) e também por ter apresentado baixo índice de resposta a aplicação de N (inferior à média geral 20,1) foi considerado como eficiente e não responsivo (Quarto Quadrante da Figura 1). O genótipo deste grupo é recomendado para o cultivo em propriedades que adotam baixo nível tecnológico (Santos et al., 2017).

4 | CONCLUSÃO

Os genótipos de milho W1, W4, W5 e W6, são classificados como eficientes no uso de nitrogênio.

Considerando a resposta à aplicação de N, os genótipos W3 e W5, são os mais responsivos.

O genótipo W4, é recomendado para o cultivo em propriedades que adotam baixo nível tecnológico.

O genótipo W3, é indicado para ser utilizado por agricultores que dispõem de nível tecnológico elevado.

REFERÊNCIAS

BORÉM, A.; GALVÃO, J.C.C.; PIMENTEL, M.A. **Milho**: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2015. 351p.
CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CARVALHO, E. V.; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência**

Agronômica, v. 42, p. 139-148, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB, 2018. 145p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

FAGERIA, N. D.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: EMBRAPA/CNPAP, 1980. 22p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. 1993. Screeging crop genotypes for mineral stresses. In: **Workshop on adaptation of plants to soil stresses**, 1993, Lincoln. Proceedings... Lincoln: University of Nebraska. (Intsormil Publication, 94-2).

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuaria, 2000. 360p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIDELIS, R. R.; SANTOS, M. M.; SANTOS, G. R.; SILVA, R. R.; VELOSO, D. A. Classificação de populações de milho quanto a eficiência e resposta ao uso de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 19, n. 2, p. 59-64, 2014.

SANTOS, W. F.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; SODRÉ, L. F.; HACKENHAAR, C.; REINA, E.; MACÊDO, D. A. Eficiência e resposta ao uso do nitrogênio em genótipos de milho para rendimento de proteína. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.10, n.4, p.6-11, 2016.

SANTOS, W. F.; SODRÉ, L. F.; MACIEL, L. C.; SILVA, R. M., AFFERRI, F. S.; CERQUEIRA, F. B.; VIEIRA, R. S. Seleção de genótipos de milho quanto a sua resposta e eficiência ao nitrogênio. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.11, n.1, p.73-76, 2017.

SCOTT, A.; KNOTT, M. 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, p.507-512.

SODRÉ, L. F.; ASCÊNCIO, S. D.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; SANTOS, W. F.; CARVALHO, E. V. Cultivo para alto e baixo nitrogênio em genótipos de milho no Tocantins visando a produção de óleo. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.91, n.2, p.174 -183, 2016.

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA ESTRUTURA DE NEOSSOLOS, APÓS A INSERÇÃO DA CULTURA DA SOJA, COM PREPARO CONVENCIONAL

Lucas Nascimento Brum

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Julio César Wincher Soares

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Daniel Nunes Krum

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Jéssica Santi Boff

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Higor Machado de Freitas

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Topografia e Geotecnologias – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Pedro Maurício Santos dos Santos

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Topografia e Geotecnologias – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Vitória Silva Coimbra

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista

Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Matheus Ribeiro Gorski

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Topografia e Geotecnologias – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Thaynan Hentz de Lima

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

RESUMO: O uso indiscriminado dos recursos do solo põe em risco a sustentabilidade da agricultura. A tecnologia vem sendo um aliado no manejo e conservação do solo e da água, por meio da análise da variabilidade espaço-temporal dos fatores de produção é possível restringir ao necessário as técnicas utilizadas, evitando desperdícios. O presente trabalho teve por objetivo analisar a variabilidade espaço-temporal dos componentes da estrutura de Neossolos. Para isso, foram realizadas prospecções por meio de 52 pontos de uma malha fixa, multitemporal (2016 e 2017), com intervalos regulares de 15 m, na profundidade de 0,0 – 0,2 m, numa área de 1,17 ha. Durante as prospecções foram coletadas amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo (DS), da porosidade

total (PT), da macroporosidade (MACRO) e da microporosidade (MICRO). De posse dos resultados, foi realizada a análise estatística descritiva, de correlação Pearson e de geoestatística para as diferentes variáveis estudadas, nos diferentes momentos. Foi observada a variabilidade espaço-temporal dos componentes da estrutura de Neossolos, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional, sob o campo nativo. As propriedades físicas dos solos apresentaram relações espaciais em sua distribuição na paisagem, nos diferentes momentos de avaliação. A densidade amostral mostrou-se de grande importância para a predição acurada das variáveis. Inicialmente, o preparo do solo para a inserção da cultura da soja contribuiu para a redução da macroporosidade dos solos, com valores restritivos para o desenvolvimento adequado da maioria das culturas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: Vegetação nativa. Física do solo. Monitoramento espaço-temporal. Manejo e conservação do solo. Agricultura digital.

ABSTRACT: The indiscriminate use of soil resources puts the sustainability of agriculture at risk. Technology has been an ally in the management and conservation of soil and water, through the analysis of the spatio-temporal variability of the factors of production it is possible to restrict to the necessary the techniques used, avoiding waste. The present work aimed to analyze the space-time variability of the components of the Neossolos structure. For this purpose, we carried out surveys using 52 points of a fixed, multitemporal mesh (2016 and 2017), with regular intervals of 15 m, in the depth of 0.0 - 0.2 m, in an area of 1.17 ha. During the surveys, undisturbed samples were collected for the determination of soil density (DS), total porosity (PT), macroporosity (MACRO) and microporosity (MICRO). With the results, descriptive statistical analysis, Pearson correlation and geostatistics were performed for the different variables studied, at different times. The spatial-temporal variability of the components of the Neossolos structure was observed after the insertion of the soybean culture with conventional tillage under the native field. The physical properties of the soils presented spatial relationships in their distribution in the landscape, in the different moments of evaluation. The sample density was of great importance for the accurate prediction of the variables. Initially, soil preparation for the insertion of soybean crop contributed to the reduction of macroporosity of soils, with values restrictive for the adequate development of most agricultural crops.

KEYWORDS: Native vegetation. Physics of the soil. Spatio-temporal monitoring. Management and conservation of soil. Digital agriculture.

1 | INTRODUÇÃO

O solo é um importante suporte para a produção agrícola, o qual possibilita um ambiente favorável para o desenvolvimento vegetal, por meio de atributos físico-químicos. Sendo assim, a relação entre os elementos minerais e orgânicos promove a organização e o acomodamento das partículas no solo, resultando em melhorias na

sua qualidade física. As relações destas propriedades com as fases líquidas e gasosas do solo interferem na atividade biológica do mesmo, logo, solos com boa estrutura, possuem valores adequados de porosidade, com boa aeração, infiltração e retenção de água, beneficiando a elongação radicular e o desenvolvimento das culturas.

Nos próximos anos, a agricultura será desafiada a ter patamares de eficiência até há pouco inimagináveis. Para atender à demanda, terá de se produzir 70% a mais, do que é produzido hoje. Portanto, será preciso impactar ainda mais os já combalidos recursos naturais. A demanda por água deverá subir 45%. As reservas mundiais de solo agrícola estão se esgotando, e 30% do que está em uso sofre devido à erosão e à má utilização (AMADO, 2014).

A fertilidade do solo, conceitualmente, é a sua capacidade de fornecer nutrientes, em quantidade e proporção adequadas às plantas, na ausência de elementos tóxicos, para o seu desenvolvimento e produtividade; essencialmente, um conceito restrito às condições químicas do solo (NICOLODI et al., 2008).

A avaliação da fertilidade do solo, definida com base no conceito mineralista, é realizada apenas com a interpretação dos resultados de algumas propriedades químicas determinadas em amostras deformadas de solo. Com base nos resultados dessa análise, são recomendados corretivos, fertilizantes e adubos para manter ou incrementar a fertilidade dos solos e, por conseguinte, elevar a produção vegetal (ANGHINONI, 2005). Porém, negligencia-se o estudo da qualidade das propriedades físicas e biológicas dos solos.

De acordo com Reichert et al. (2003), a qualidade do solo esta aliada a boa infiltração, retenção e disponibilidade de água, tanto em superfície quanto em subsuperfície facilitando as trocas gasosas com a atmosfera e com as raízes das plantas.

Outro fator preponderante é a classe do solo, Neossolos são considerados solos com material mineral e orgânicos pouco espessos, com uma expressão pequena de processos pedogenéticos se comparado com outras classes com maior profundidade Oliveira (2008). Geralmente Neossolos Litólicos são constituídos de horizontes A ou O, acima do horizonte C ou Cr ou sobre fragmentos de rochas, com contato lítico numa profundidade de 50 cm da superfície. Quanto aos Neossolos Regolíticos, contém o horizonte A sobreposto ao horizonte C ou Cr, com a rocha em estado avançado de intemperismo, este contato ocorre abaixo de 50 cm da superfície (STRECK et al. 2018).

Para a gestão conservacionista da paisagem, faz-se necessário, dentre outros fatores, o conhecimento da variabilidade espacial e temporal das propriedades físicas dos solos, relacionadas a sua estrutura, deste modo é possível compreender as modificações ocorridas com o passar do tempo e assim identificar os parâmetros influenciadores destas modificações.

A geoestatística descreve a variabilidade espacial dos diferentes componentes da estrutura dos solos, permitindo a geração de subsídios e prognósticos para a utilização de práticas conservacionistas nos locais adequados e com magnitudes exatas, evitando

desperdícios, reduzindo o custo de produção e os passivos ambientais (VIERA, 2000).

A teoria fundamental da geoestatística é de que os resultados, que em sua maioria estão mais próximos em espaço e tempo sejam mais semelhantes entre si, do que os mais distantes (ISAAKS E SRIVASTAVA, 1989).

Portanto, a análise da variabilidade espaço-temporal das propriedades físicas do solo permite a correção de possíveis inconformidades dos mesmos, contribuindo com melhorias para a estrutura dos solos, produtividade das culturas e também, ampliando o conhecimento destas variabilidades com o decorrer do tempo.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espaço-temporal de componentes da estrutura de Neossolos, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional, sob o campo nativo.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Santiago, no Vale do Jaguari, RS, na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Santiago, com coordenadas centrais UTM 705.589 E e 6.769.112 S (SIRGAS2000, zona 21 J).

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), na catena em estudo, de 1,17 ha, desenvolvem-se polipedons de Neossolos Litólicos Distróficos e Neossolos Regolíticos Distróficos, com grande contribuição da fração silte para a composição textural, perfazendo textura franco siltosa (silte 560 g kg^{-1} , areia 240 g kg^{-1} , argila 200 g kg^{-1}). Inicialmente, a ocupação do solo era constituída por campo nativo, com mais de três décadas de estabelecimento, posteriormente, foi inserida a cultura da soja com preparo convencional.

Variabilidade Espaço-temporal da Estrutura do Solo?

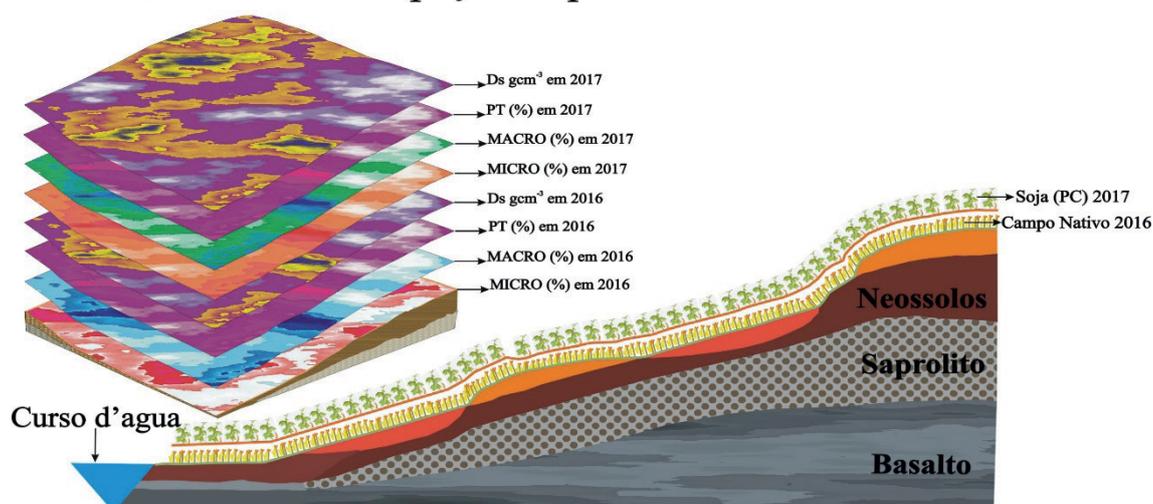


Figura 1. Perfil longitudinal da catena em estudo, com diferentes coberturas vegetais e propriedades físicas avaliadas.

Foi realizada a amostragem em 52 pontos de prospecção, de uma malha

multitemporal com intervalos regulares de 15 metros, na profundidade de 0,0 – 0,2 m (FIGURA 2).

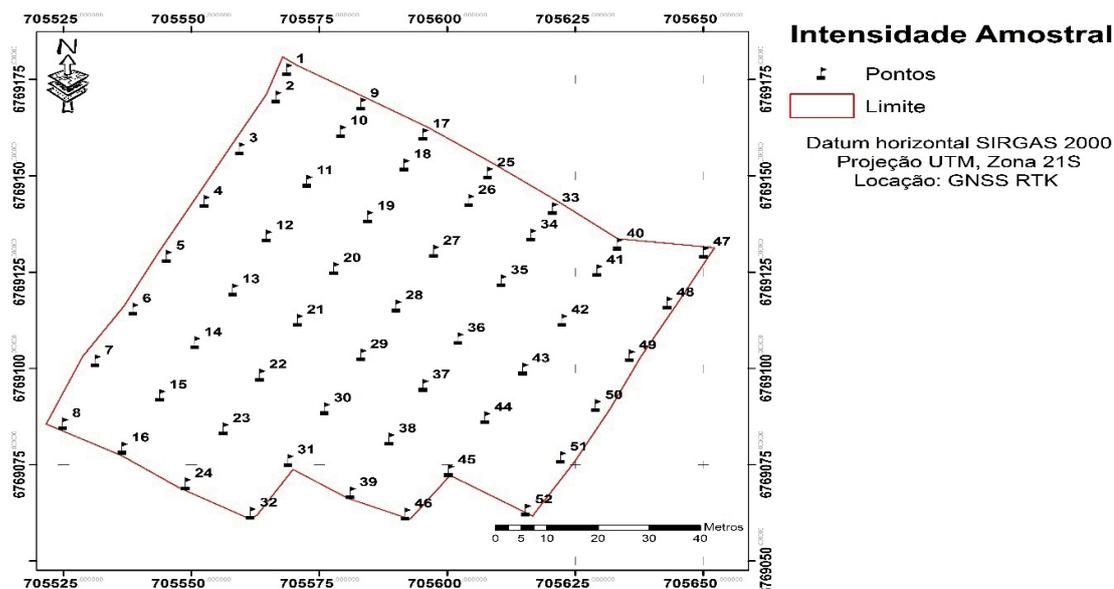


Figura 2. Mapa amostral da distribuição espacial dos pontos de prospecção.

Para locação dos pontos foi empregado um receptor GNSS (Sistema Global de navegação por satélite) Leica modelo Viva GS15, com dupla frequência (L1/L2) e disponibilidade de Real Time Kinematic (RTK), utilizando o datum horizontal SIRGAS2000.

Durante as prospecções foram coletadas amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo (DS), da porosidade total (PT), da macroporosidade (MACRO) e da microporosidade (MICRO), as análises laboratoriais foram realizadas conforme Donagema (2011).

A variabilidade do solo foi, primeiramente, avaliada pela análise estatística descritiva. A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$). Já o coeficiente de variação (CV) foi classificado segundo Warrick e Nielsen (1980), o qual considera variabilidade baixa ($CV < 12\%$); média ($12\% < CV < 60\%$) e alta ($CV > 60\%$).

Utilizando-se a geoestatística, foram realizados os ajustes dos modelos de semivariogramas aos dados, sendo definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. Posteriormente, o grau de dependência espacial (IDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994).

Em seguida, os mapas das diferentes propriedades físicas do solo foram gerados utilizando o interpolador de krigagem ordinária do ArcGIS® 10.5.1. (ArcToolbox → Geostatistical Analyst → Assistente de geoestatística → Geostatistical Methods → Kriging → Kriging type → Ordinary) (FIGURA 3). O estimador de krigagem ordinária é descrito por Trangmar et al. (1985), com a seguinte equação: $\hat{Z}(x_0) = (x_i)$, em que: $\hat{Z}(x_0)$ é a estimativa de krigagem para o local x_0 não amostrado; $Z(x_i)$ valor obtido por

amostra coletada a campo; n corresponde ao número de amostras vizinhas; e e_i são os pesos da krigagem atribuídos aos valores vizinhos $Z(x_i)$ para estimar $\hat{Z}(x_0)$ (CARAM, 2007).

Posteriormente, foram gerados mapas multitemporais para permitir o maior detalhamento espacial e temporal das propriedades estudadas (FIGURA 3).

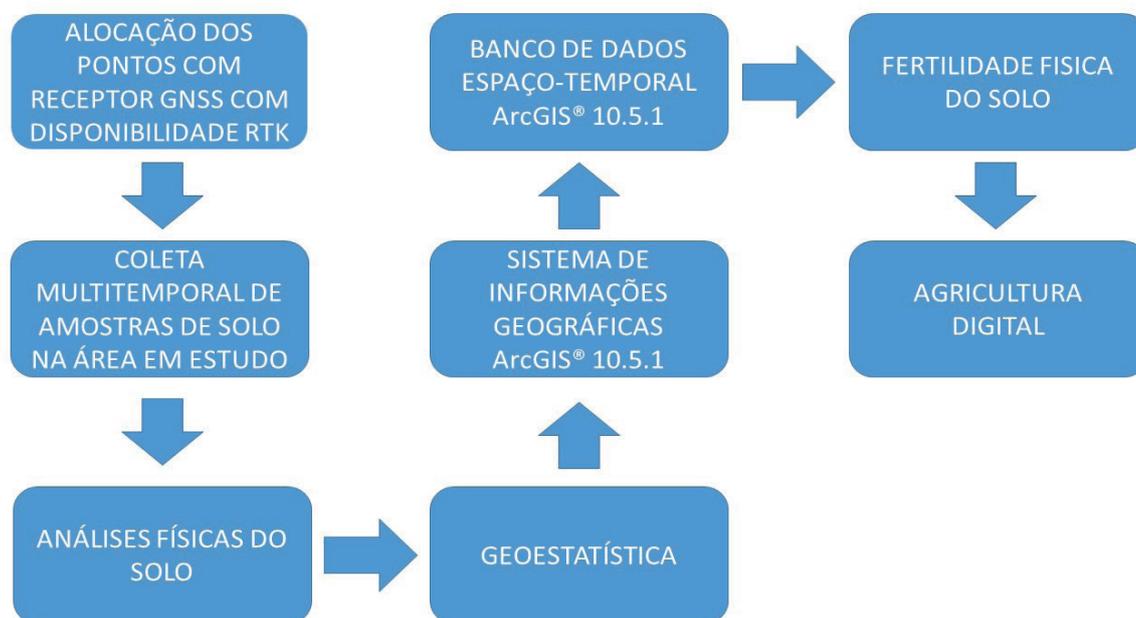


Figura 3 – Fluxograma descritivo das rotinas de trabalho.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva revela que todos os resultados das propriedades avaliadas apresentam distribuição normal (TABELA 1).

Os valores da estatística básica mostram valores médios de PT de 48,16 % para campo nativo e de 54,03 % para plantio convencional (TABELA 1). Segundo Kiehl (1979), valores de PT menores que 50 %, indicam alguma restrição ao desenvolvimento radicular das culturas. De acordo com Ranzani, (1969) o espaço poroso abrange de 30 a 60% do volume do solo; assim, considerando os valores de PT do presente estudo, pode-se inferir que a mesma esteve próxima ao adequado nos diferentes sistemas.

A MICRO apresentou média de 37,64 % sob campo nativo e de 46,73 % sob plantio convencional (TABELA 1). Pedron et al. (2011), avaliando Neossolos, encontraram um valor médio de 33 % como sendo o ideal para a retenção de água. A DS obteve o mesmo padrão, apresentando valores distantes da densidade crítica (TABELA 1), conforme Reinert et al. (2001).

Em relação a MACRO, observa-se a sua redução com o passar do tempo. Sendo que a MACRO se torna restritiva após o revolvimento do solo para o cultivo da soja, tendo em vista que, segundo Thomasson (1978), valores de porosidade de aeração abaixo de 10 – 15 %, restringem o desenvolvimento da maioria das culturas (TABELA 1).

Propriedade	Pontos	Mínimo	Máximo	Média	DP	CV (%)	K-S	SIG
<u>Campo Nativo</u>								
DS (g cm ⁻³)	52	0,99	1,55	1,34	0,10	8,00	0,01	1,00
PT (%)	52	34,18	62,92	48,16	4,68	10,00	0,07	0,69
MACRO (%)	52	1,23	16,99	10,52	3,55	34,00	0,11	0,09
MICRO (%)	52	31,66	45,93	37,64	2,69	7,00	0,08	0,62
<u>Plantio Convencional</u>								
DS (g cm ⁻³)	52	1,00	1,43	1,21	0,12	7,50	0,85	0,46
PT (%)	52	45,55	62,00	54,03	5,64	6,40	0,86	0,45
MACRO (%)	52	1,17	19,27	7,30	4,36	47,80	0,63	0,82
MICRO (%)	52	34,42	54,78	46,73	4,37	6,00	0,81	0,53

Tabela 1 - Análise estatística descritiva das propriedades físicas de NEOSSOLOS, sob campo nativo (2016) e após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional (2017).

DS: Densidade do solo (g cm⁻³). PT: Porosidade Total (%). MACRO: Macroporosidade (%). MICRO: Microporosidade (%). DV: Desvio Padrão. CV (%): Coeficiente de Variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. SIG: Significância (p<0,05).

No solo em estudo foi utilizada uma grade super-pesada para o preparo. Solos comumente revolvidos por maquinário pesado apresentam menor estabilidade dos agregados, aumento da densidade, alterações no espaço poroso e redução na condutividade hidráulica e gasosa (WÜNSCHE; DENARDIN, 1982).

De acordo com Reinert e Reichert (2006), a classe textural é determinada pela distribuição do tamanho de partículas e juntamente com o tipo de argila afetam outras propriedades físicas como a drenagem e a retenção de água, a aeração e a consistência dos solos. Nos solos analisados, há a predominância de silte, o que influencia diretamente na redução da MACRO, em consequência do solapamento das partículas. Pois, os solos apresentam baixa contribuição de argila e da matéria orgânica para a fase sólida. Conforme Hillel (1980), estas frações atuam como agente cimentante na estrutura do solo. Cabe salientar que, em 2017, foram mensuradas perdas dramáticas de matéria orgânica nos solos em estudo (KRUM et al., 2017).

A análise de geoestatística das propriedades físicas dos solos, em 2016, indica que, os dados de DS, MACRO e MICRO se ajustaram ao modelo Gaussiano, já para PT o ajuste se deu ao modelo Stable. Com valores respectivos de alcance de: 113,51 m, 93,85 m, 27,50 m e 96,51 m (TABELA 2).

Em 2017, os dados de DS e MICRO seguiram com o ajuste ao modelo Gaussiano, com valores respectivos de 24,25 m e 25,71 m. Para os dados de MACRO, o ajuste se deu ao modelo exponencial, e os dados de PT se ajustaram ao modelo Stable, com alcance de 18,77 e 24,25 m, nesta ordem (TABELA 2).

Os alcances nos diferentes momentos de estudo, indicam que a malha amostral, com equidistância de 15 m contribuiu para predição acurada das propriedades, de acordo com Panosso et al. (2008), o alcance é um parâmetro essencial do semivariograma.

A classificação do grau de dependência espacial indica que, a grande maioria das propriedades em estudo apresentou forte dependência espacial, nos diferentes

momentos, com exceção da MACRO e da PT, que apresentaram dependência espacial moderada em 2016 (TABELA 2).

Parâmetros	DS	MACRO	MICRO	PT
<u>Campo Nativo</u>				
Modelo	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano	Stable
Alcance	113,51	93,85	27,50	96,51
Patamar	0,01	9,00	6,67	15,93
Pepita	0,00	6,08	1,29	11,91
M	-0,001	-0,038	0,068	0,026
RMS	0,090	3,215	2,412	3,791
MS	-0,003	-0,007	0,025	0,006
RMSS	0,993	1,001	0,977	0,984
ASE	0,090	3,209	2,420	3,861
DE	Forte	Mod.	Forte	Mod.
GDE (%)	0,00	67,63	19,42	74,77
<u>Plantio Convencional</u>				
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Gaussiano	Stable
Alcance	24,25	18,77	25,71	24,25
Patamar	1,23	0,96	1,22	1,17
Pepita	0,07	0,00	0,01	0,09
M	-0,001	0,046	-0,067	0,040
RMS	0,080	3,399	2,235	3,051
MS	-0,007	0,012	-0,022	0,008
RMSS	0,979	1,031	0,956	0,961
ASE	0,081	3,334	2,313	3,157
DE	Forte	Forte	Forte	Forte
GDE (%)	6,10	0,00	0,10	8,12

Tabela 2 - Modelos de semivariogramas ajustados para a densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) de Neossolos, sob campo nativo (2016) e após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional (2017).

DS: Densidade do solo (g cm^{-3}). PT: Porosidade Total (%). MACRO: Macroporosidade (%). MICRO: Microporosidade (%). M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão.

Conforme a figura 2, relacionando os mapas de distribuição espacial das diferentes propriedades físicas dos solos, nos diferentes momentos, observa-se na paisagem que, o espaço poroso e seus diferentes compartimentos relacionam-se com a DS, sendo possível inferir que, quanto maior a DS, menor será a PT e o volume de macroporos; indo de encontro a Klein (2012), o qual afirma que a DS, definida como a massa dos sólidos por seu volume, é afetada por cultivos que alteram sua estrutura e por consequência, o volume e tamanho dos poros.

O coeficiente de correlação de Pearson varia de 1 a -1, relacionando os compartimentos do espaço poroso com a densidade do solo, desta forma, pode-se avaliar que valores positivos indicam que uma propriedade em específico aumenta em função de outra e, valores negativos indicam o contrário.

No campo nativo, correlacionando o espaço poroso e seus diferentes

compartimentos com a DS, é possível inferir que quanto maior a DS, menor será a PT e o volume de MACRO, sem causar efeitos na MICRO (Tabela 3), corroborando com as observações de Mentges et al. (2010).

Quanto ao plantio convencional é possível concluir que, a DS apresentou correlação negativa com a PT e conseqüentemente, com a MICRO e a MACRO. No que refere-se a PT, esta propriedade apresentou correlação positiva com a MACRO e a MICRO (TABELA 3).

Propriedade	Pontos	DS	PT	MICRO	MACRO
<u>Campo Nativo</u>					
DS	52	-	-0,905*	-	-0,480*
PT	52	-	-	-	0,654*
MICRO	52	-	-	-	-
MACRO	52	-	-	-	-
<u>Plantio Convencional</u>					
DS	52	-	-0,999*	-0,405*	-0,665*
PT	52	-0,999*	-	0,403*	0,668*
MICRO	52	-0,405*	0,403*	-	-0,412*
MACRO	52	-0,665*	0,668*	-0,412*	-

Tabela 3 - Correlações de Pearson para a densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MICRO) e macroporosidade (MACRO) de Neossolos, sob campo nativo (2016) e após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional (2017).

* = correlação de Pearson significativa ($p < 0,05$). DS = Densidade do solo (g cm^{-3}). PT = porosidade total (%). MICRO = microporosidade (%). MACRO = macroporosidade (%).

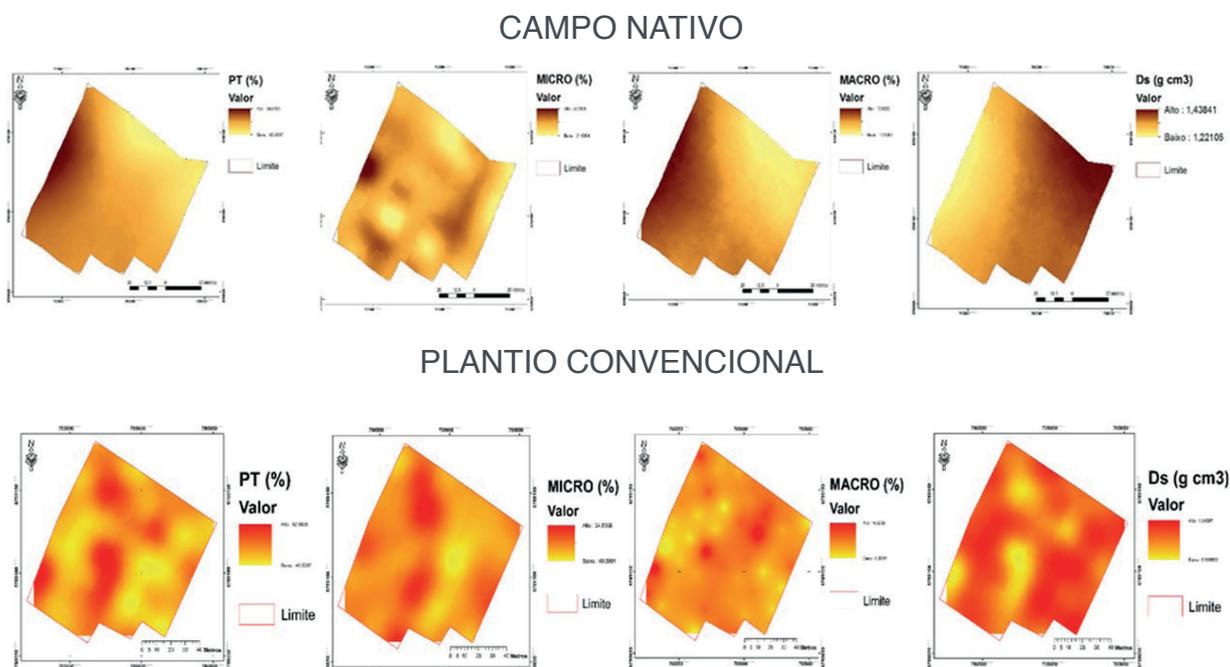


Figura 4. Mapas de distribuição espacial da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (MICRO) e macroporosidade (MACRO) de Neossolos sob campo nativo (2016) e após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional (2017).

O presente estudo alcançou devidamente o objetivo proposto, se mostrando

eficaz para estimar a variabilidade espaço-temporal da estrutura do solo, predizendo a necessidade de manejo conservacionista da catena em estudo, contribuindo assim, para a sustentabilidade do sistema produtivo.

Por se tratar de um solo pouco desenvolvido, com textura siltosa, o trabalho teve como limitação a carência de estudos em condições semelhantes, os quais permitiriam uma base comparativa para os principais resultados.

4 | CONCLUSÕES

Foi observada a variabilidade espaço-temporal dos componentes da estrutura de Neossolos, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional, sob campo nativo. Também, observou-se que as propriedades físicas dos solos apresentaram relações espaciais em sua distribuição na paisagem, nos diferentes momentos de avaliação.

A inserção da cultura da soja com plantio convencional contribuiu para a redução da macroporosidade dos solos.

A densidade amostral mostrou-se de grande importância para a predição acurada das variáveis.

REFERÊNCIAS

AMADO, T.J. C. Agricultura de precisão e revolução tecnológica, 2015, fonte **Zero Hora**.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo no ambiente subtropical. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 30., Recife, 2005. Palestras. Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD-ROM.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. e KONOPKA, A.E. **Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1501-1511, 1994.

CARAM, R. O. **Reconstrução de Séries e Análise Geoestatística da Precipitação no Estado de Minas Gerais**. 2007. 92f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG.

DONAGEMMA, G. K. et al. (Org.) **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ISAAKS E.H., SRIVASTAVA R.M. 1989. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press.

HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. **New York: Academic**, 1980. 413 p.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p

KLEIN, V.A. **Física do Solo**/ Wilson Antonio Klein. – 2. Ed. – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240 p. 40: il; 23 cm. ISBN 978-85-7515-770-1

KRUM, D. N. et al. **Variabilidade Espacial e Temporal das Frações da Matéria Orgânica do Solo pós-inserção da Cultura da Soja com Plantio Convencional sob Campo Nativo**. Anais. In: IV Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas, 2017, Não-Me-Toque. IV Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas, 2017.

MENTGES, M. I., REICHERT, J. M., ROSA, D. P., et al. **Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 45(3), 315-321, 2010.

OLIVEIRA, F.P.; SANTOS, D.; SILVA, I.F. & SILVA, M.L.N. Tolerância de perda de solo por erosão para o estado da Paraíba. **R. Biol. Ci. Terra**, 8:60-71, 2008.

PANOSSO, A. R. et al. **Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em LATOSSOLOS sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo**. Engenharia Agrícola, v.28, p.227-236, 2008.

NICOLODI, M. et al. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no Sistema Plantio Direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.2735-2744, 2008.

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, p. 53-62, 2011.

RANZANI, G. **Manual de levantamento de solos**. 2. Ed. São Paulo, Edgard Blusher, 1969.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. **Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: Condições físicas do solo agrícola**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, SBCS, 2003. CD ROM.

REINERT, D. J.; REICHERT. **Qualidade física dos solos**. Anais...Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 16, 2006. SBCS, 2006.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. **Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado**. In: CARLESSO, R. et al. Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 2001, 165p.

STRECK, E.V. et al.; FLORES, C.A.; SCHNEIDER, P. (Clbs.) **Solos do Rio Grande do Sul**. 3 ed., rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252 p. il. Color. ISBN 978-85-98842-20-2.

THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. **Journal of Soil Science**, v.29, p.38-46, 1978.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA G. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties**. Advances in Agronomy, San Diego, v.38, p.45-94, 1985.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. Applications of soil physics. **New York: Academic Press**, 1980.

ÍNDICE DE ESTRATIFICAÇÃO DE CARBONO EM ÁREAS DE EXPANSÃO DA AGRICULTURA NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Nádia Goergen

Estudante de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Frederico Westphalen, Linha 7 de Setembro, s/n BR 386 Km 40, Frederico Westphalen – RS, 98400-000, nadia.goergen@hotmail.com.

Felipe Bonini da Luz

Técnico administrativo em educação, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen;

Ijésica Luana Streck

Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen.

Marcos André Bonini Pires

Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen.

Jovani de Oliveira Demarco

Estudante de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen.

Vanderlei Rodrigues da Silva

⁽⁴⁾ Prof. Dr. da Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen.

RESUMO: O conteúdo de carbono é um dos principais indicadores da qualidade do solo, assim como a sua estratificação no perfil pode ser utilizado para avaliar a dinâmica da matéria orgânica em função do uso da terra. O aumento da demanda por bioenergia tem ocasionado à expansão das áreas de cana-de-açúcar na região centro sul do Brasil, principalmente em áreas que anteriormente eram usadas como pastagem, e o aumento da produção de grãos

têm expandido suas áreas para solos marginais. Desta forma, a vegetação nativa deu lugar às áreas com pastagens, posteriormente, as pastagens transformadas em lavouras para a produção de grãos ou bioenergia. O objetivo deste trabalho foi avaliar o índice de estratificação de carbono em áreas de expansão da agricultura. Amostras de solo foram coletadas em três locais, em três camadas e em quatro usos da terra: vegetação nativa, pastagem, cana-de-açúcar e cultivo de grãos (sistema plantio direto (SPD), sistema de preparo convencional (SPC) ou com integração lavoura pecuária (ILP)). A análise de carbono foi realizada para cada camada e o índice de estratificação calculado pela relação entre o conteúdo de carbono da primeira camada pelo conteúdo de carbono das demais camadas. Os resultados indicaram que os usos da terra com pastagem manejada, SPD e ILP são promissores para elevar o conteúdo de carbono no solo enquanto os usos da terra com SPC em áreas tradicionais de agricultura e cana-de-açúcar em solos marginais devem ser analisados com uma postura crítica devido aos baixos índices de estratificação de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: Uso da Terra, Cana-de-açúcar, Sistema plantio direto, solos arenosos.

1 | INTRODUÇÃO

A mudança do uso da terra tem sido

responsável, globalmente, por grande parte das emissões de carbono através de CO₂ (CERRI et al., 2009) e pela degradação do solo, principalmente quando a vegetação nativa é convertida em pastagem e a pastagem posteriormente em produção de grãos ou bioenergia. Os diferentes manejos do solo podem interferir significativamente na sua estrutura bem como no armazenamento de carbono causando diversos problemas como selamento superficial, perdas por erosão e dificuldade de penetração das raízes, além de outros impactos nas propriedades químicas do solo (MACEDO 2009, D'ANDRÉA et al., 2004).

Atualmente, áreas de solos arenosos da região Norte do Paraná e Sul de São Paulo têm sido incorporados ao processo produtivo de grãos, intensificação de pastagens e bioenergia, sendo considerada a última fronteira agrícola do país (DONAGEMA et al., 2016). Estes solos são considerados mais susceptíveis a degradação, quando comparados a solos de textura argilosa e por isso, incertezas referentes à qualidade do solo em áreas de expansão da agricultura continuam a ser motivo de preocupação. Segundo Sá et al. (2017), o início da degradação do solo na América do Sul, desencadeado pela transformação de vegetação nativa em pastagens, tem sido agravado pelo mau uso continuado do solo e, o manejo incorreto das pastagens degradadas.

O conteúdo de carbono orgânico do solo é um dos principais indicadores para avaliar a qualidade do solo (FRANZLUEBBERS, 2002). De acordo com Fidalski et al. (2007), uma ótima forma de avaliar a qualidade do solo é pelo índice de estratificação de carbono (IEC). Sendo que o mesmo compara o conteúdo de carbono do solo superficial com o das outras camadas inferiores, onde altas proporções de estratificação podem ser bons indicadores da qualidade do solo.

Segundo Matias et al. (2012), o uso da terra sob SPD e vegetação nativa apresentam melhores IEC do que com SPC, indicando também que os dois primeiros são os que melhor mantêm a qualidade física do solo. Silva et al. (2017), relata que áreas ocupadas com mata nativa apresentam IEC bem maiores que os demais sistemas de cultivo, sendo que usos da terra com Cana-de-açúcar, Pastagem e SPD, apesar de cultivadas ao longo prazo, não apresentam respostas significativas no aumento do IEC.

A melhor compreensão em função das diferenças regionais no solo e quantificação das potenciais práticas de produção são necessárias para assegurar que programas científicos resultem em recomendações de manejo que apoiem a intensificação da agricultura sem degradação adicional do solo, principalmente em áreas de expansão da agricultura.

Sendo assim, para abordar a eficiência das práticas de manejo quanto ao acúmulo de carbono no solo em diferentes usos da terra nestes locais de expansão, o objetivo deste trabalho foi avaliar a estratificação de carbono em áreas sob vegetação nativa, pastagem, cultivo de grãos e bioenergia na região centro sul do Brasil.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de solo nos usos da terra com vegetação nativa, pastagem, cultivo de cana-de-açúcar e cultivo de grãos em três locais na região Norte do Estado do Paraná, considerados locais de expansão da agricultura: (1) Santo Inácio, em solo originado da formação Arenito Caiuá, sendo classificado como Neossolo Quartzarenico com 10% de argila, 5% de silte e 85% de areia (2) São Jorge do Ivaí, correspondendo a uma região de transição entre a formação Caiuá de origem sedimentar e a formação sobre basalto. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro com 17% de argila, 8% de silte e 75% de areia; (3) Londrina, na fazenda experimental da Embrapa Soja, em solo argiloso originado da formação basáltica, classificado como um Latossolo Vermelho Eutroférico com 75% de argila, 23% de silte e 2% de areia. Em ambas as regiões, o clima é considerado subtropical úmido (Cfa, segundo classificação de Köppen), com temperatura média anual de 20°C. Nos três locais a vegetação nativa consiste de uma vegetação sub-montana secundária e floresta estacional semidecidual composta por *Trichillia clausenii*, *Euterpe edulis* e *Aspidosperma polyneuron* como espécies dominantes.

Em Santo Inácio, o uso da terra com pastagem foi instalado em 1999, composto por *Brachiaria ruziziensis*, com adubação anual de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, com carga animal de 4 UA ha⁻¹, em 2015 a Braquiária foi substituída por *Cynodon spp.* A cana-de-açúcar foi implantada em 2004, manejada sem queima e o cultivo de grãos tem como cultura predominante a soja cultivada em SPD, realizado juntamente com o sistema integração lavoura pecuária (ILP), implantado em 2003.

Em São Jorge do Ivaí os usos da terra correspondem a pastagem natural, do gênero *Cynodon spp.*, sem manejo de adubação, com baixa carga animal (1,5 UA ha⁻¹). A cana-de-açúcar foi implantada em 2007, onde a colheita é realizada sem queima e, o uso da terra com cultivo de grãos é em SPD iniciado em 2010, cultivado com soja no verão.

Em Londrina, a pastagem é cultivada com *Panicum maximum* cv. Tanzânia implantada em 2005 (anteriormente era pastagem natural), com adubação anual de 80 kg ha⁻¹ de N, sendo que no ano de 2013 foi aplicado 4 Mg ha⁻¹ de cama de frango. A carga animal média é 2,9 unidade animal (UA) ha⁻¹. O cultivo da cana-de-açúcar foi instalado em 1975, com renovação feita a cada cinco anos. A última cana planta ocorreu em 2012, com a cultivar RB 5354, utilizando adubação de 250 kg ha⁻¹ do adubo 20-00-20 (formulado NPK) e aplicação de 2 Mg ha⁻¹ de cama de frango. Neste local foram selecionadas quatro áreas com cultivo de grãos, correspondendo a um experimento implantado em 1993. As áreas foram: SPD com rotação de culturas (SPDr), SPD com sucessão de culturas (SPDs), SPC com rotação de culturas (SPCr) e SPC com sucessão de culturas (SPCs). A rotação de culturas corresponde ao cultivo de milho segunda safra após a soja e a sucessão de culturas corresponde ao cultivo

de soja no verão e trigo no inverno. Nos usos da terra com soja a adubação foi 320 kg ha⁻¹ de adubo 00-20-20 (formulado NPK), e nas culturas de milho e trigo foi de 250 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente, de adubo 08-28-16.

As amostras foram coletadas em fevereiro de 2016, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0-30 m em 4 pontos amostrais distanciados 50 m entre si em cada uso da terra, compondo 12 pontos amostrais. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para laboratório onde o conteúdo de carbono orgânico total foi determinado por combustão seca através do uso de um analisador elementar (*Flash 2000 Organic Elemental Analyzer*). O índice de estratificação de carbono foi calculado através da divisão entre a concentração de carbono da camada superficial (0,0-0,10 m) pela concentração média de carbono das camadas subsuperficiais de acordo com Franzluebbbers (2002).

Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$). A análise de variância foi utilizada para testar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o índice de estratificação de carbono e quando significativos, os valores dos resultados foram comparados usando o teste de Tukey ($p < 0,05$). Neste estudo cada local foi analisado separadamente, visto as diferenças entre os históricos das áreas e as análises realizadas através do software R., versão 3.1.1 (R. Core Team, 2016).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altas proporções de estratificação de carbono, ou seja, quando maior que 2, podem ser considerados bons indicadores da qualidade do solo e correlacionados com o aumento do estoque de carbono (FRANZLUEBBERS, 2002). Os resultados deste trabalho demonstram, porém, que em São Jorge do Ivaí todos os usos da terra apresentaram IEC inferior a 2 (Figura 1), não havendo diferenças entre os usos, com IEC médio de 1,5. Estes resultados representam que a entrada de carbono nestes ambientes ainda não é a ideal, podendo melhorar para alcançar uma boa qualidade do solo.

Para as condições de solo arenoso em Santo Inácio, o uso da terra com pastagem foi o único a apresentar IEC superior a 2 (Figura 2), porém este valor não foi significativamente diferente dos valores encontrados na vegetação nativa e no uso da terra com ILP, os quais foram inferiores a 2 e próximos a 1,5. Neste local, o IEC da pastagem foi significativamente maior que o IEC obtido no uso da terra com cana-de-açúcar, o qual apresentou IEC inferior a 1.

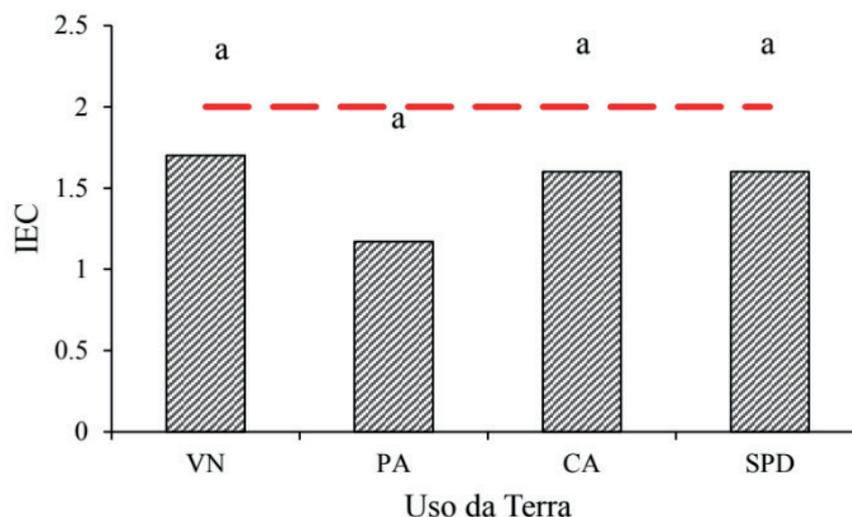


Figura 1. Índice de estratificação de carbono (IEC) em função do uso da terra. Vegetação nativa (VN), pastagem (PA), cana-de-açúcar (CA), sistema plantio direto (SPD), em São Jorge do Ivaí, Paraná – Brasil.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Linha tracejada representa uma relação de referência a IEC igual a 2.

O IEC pode ser utilizado como um eficiente indicador do acúmulo de carbono a longo prazo no uso da terra com SPD no Brasil, atingindo valores entre 1,64 a 2,61 e quando cultivado em preparo convencional estes valores reduzem para 1,12 a 1,51 (SÁ e LAL, 2009). Segundo o presente trabalho, o uso da terra com pastagem, também pode ser eficiente no acúmulo de carbono em solos arenosos (Figura 2). Cabe ressaltar que a pastagem é manejada com correções e adubações periódicas, o que favorece a maior densidade de raízes, maior ciclagem de nutrientes, maior atividade biológica, conseqüentemente aumentando o acúmulo de carbono no solo.

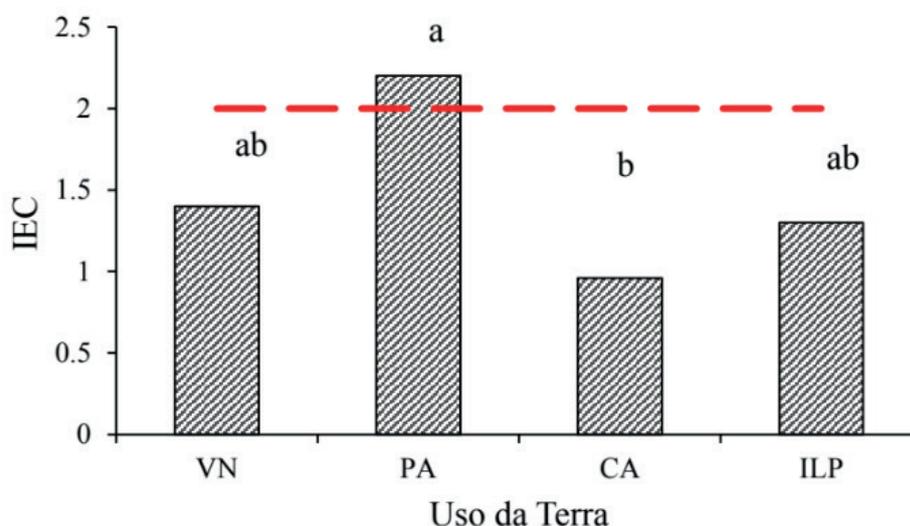


Figura 2. Índice de estratificação de carbono (IEC) em função do uso da terra. Vegetação nativa (VN), pastagem (PA), cana-de-açúcar (CA), sistema plantio direto juntamente com integração lavoura-pecuária (ILP) em Santo Inácio, Paraná – Brasil.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Linha tracejada representa uma relação de referência a IEC igual a 2.

Mesmo não sendo superior a 2, o uso da terra com ILP pode favorecer o acúmulo de carbono em solos arenosos, como visto na área de Santo Inácio, justificando-se devido a maior adição de biomassa ocasionada pela braquiária no período invernal pelo seu extenso e vigoroso sistema radicular (SILVA et al., 2016), o que compensa a baixa adição de material vegetal da soja.

Os resultados deste estudo indicam que o uso da terra com cana-de-açúcar em áreas arenosas é potencialmente mais prejudicial a qualidade do solo que o uso da terra com pastagens (Figura 2) devido ao baixo IEC. Este resultado deve-se principalmente ao cultivo contínuo e o intenso preparo no solo a cada plantio e renovação dos canaviais, pois o revolvimento do solo causa a ruptura da sua estrutura o que expõe a matéria orgânica aos processos de decomposição microbiana, ocasionando redução no conteúdo de carbono na superfície do solo (FIGUEIREDO et al., 2010). Segundo Salton et al. (2014), valores de IEC inferiores ou próximos a um indicam perda da qualidade do solo.

Para estes locais é indicado o uso da terra em sistemas integrados de produção, que aliam SPD, a produção de grãos, gramíneas forrageiras anuais e até mesmo pastagens perenes com correções e adubações periódicas. Segundo Canellas, et al (2003), a própria vinhaça oriunda da cana-de-açúcar, a qual é considerada rejeito pelas indústrias canavieiras, tem resultados positivos quando aplicada ao solo, até mesmo em manejo da cultura com queima da palhada, pois interfere na manutenção do carbono e da matéria orgânica, além de aumentar a fertilidade do solo.

O IEC (Figura 3), demonstrou que os usos da terra com vegetação nativa e sistema plantio direto (SPDr e SPDs) estão apresentando maior entrada de carbono com valores de IEC superior a 2. Os usos da terra com pastagem, cana-de-açúcar e sistema de preparo convencional (SPCr e SPCs) apresentaram valores inferiores a 2.

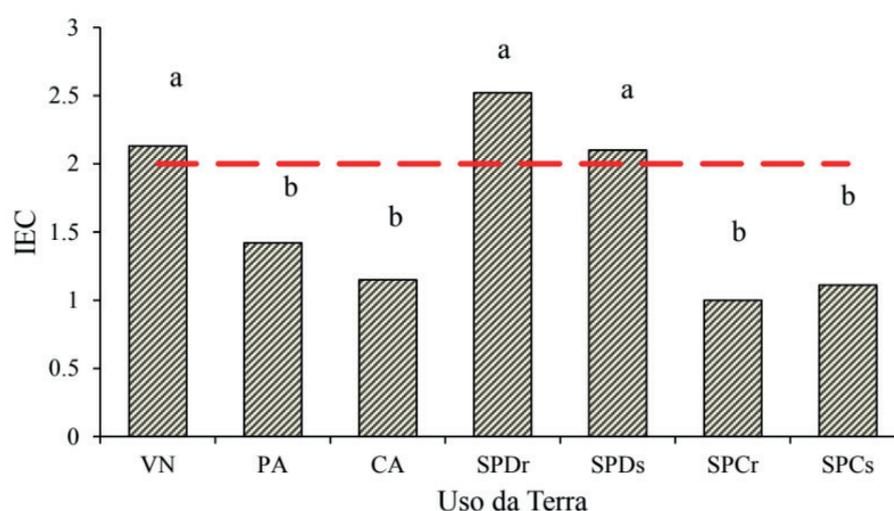


Figura 3. Índice de estratificação de carbono (IEC) em função do uso da terra. Vegetação nativa (VN), pastagem (PA), cana-de-açúcar (CA), sistema plantio direto (SPD) com rotação de culturas (SPDr), SPD com sucessão de culturas (SPDs), sistema de preparo convencional (SPC) com rotação de culturas (SPCr), SPC com sucessão de culturas (SPCs) em Londrina, Paraná – Brasil.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Linha tracejada representa uma relação de referência a IEC igual a 2.

Portanto, o maior valor de IEC obtido pelo SPD é resultado da maior deposição superficial de resíduos orgânicos e pelo crescimento radicular destacado principalmente em camadas superficiais (NUNES et al., 2011).

O alto IEC para o SPD e VN pode estar relacionado com a agregação do solo. Segundo Almeida e Sanches (2014), o plantio direto tende a acumular mais carbono no solo por não destruir os agregados formados e por manter a cobertura do solo, aumentando também a macroporosidade, sendo que, de acordo com Salvo et al. (2014), o SPC compromete a estrutura do solo rompendo os agregados e, conseqüentemente, interrompendo a proteção física do carbono, o que pode ter influenciado nessa dinâmica de carbono no solo que fez aumentar o IEC para o SPD e não para o SPC.

Com base nos resultados obtidos, é possível perceber que o SPD resultou em valores muito próximos aos da VN. Portanto, concorda com o que concluíram Llanillo et al. (2006), ao afirmarem que o SPD é o sistema de cultivo que mais possibilita manter o solo próximo das condições naturais.

De acordo com Sá e Lal (2009), o SPD é considerado muito eficiente no armazenamento de carbono ao longo prazo em solos argilosos na região, pois este sistema se bem manejado, onde que se visa o mínimo de alterações na estrutura do solo, mantém-se sob forma natural chegando a condições próximas a de áreas de mata, com altos teores de carbono no solo. Segundo eles, solos cultivados com plantio direto atingem valores de IEC variando de 1,64 a 2,61, enquanto que em solos cultivados com SPC esses valores podem cair até 1,12.

4 | CONCLUSÕES

A expansão das áreas de cana-de-açúcar na região centro sul do Brasil devem ser evitadas em solos arenosos, pois devido à fragilidade destes, e revolvimento a cada implantação/renovação dos canaviais, demonstrou potencial para redução do índice de estratificação de carbono, comprometendo a qualidade do solo.

Nestas áreas devem ser priorizados usos da terra com alta adição de material vegetal e cobertura permanente do solo.

O SPD é o sistema de manejo que melhor se destaca na dinâmica de carbono no solo por apresentar os mais altos IEC.

REFERÊNCIAS

Almeida RF, Sanches BC. **Disponibilidade de carbono orgânico dos solos no cerrado brasileiro.** Scientia Agraria Paranaensis – SAP; ISSN: 1983-1471 Marechal Cândido Rondon, v. 13, n. 4, out./dez., p. 259-264, 2014.

Canellas, L. P., et al. **“Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo.”** Revista Brasileira de Ciência do Solo 27.5 (2003).

- Cerri CEP, Easter M, Paustian K, Killian K, Coleman K, Bernoux M, Falloon P, Powlson DS, Batjes NH, Milne E, Cerri CC. **Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 122, p. 58-72, 2007.
- D'andréa AF, Silva MLN, Curi N, Guilherme LRG. **Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004.
- Donagema GK, Freitas PL, Balieiro FC, Fontana A, Spera ST, Lumbreiras JF, Viana JHM, Filho JCA, Sanros FC, Albuquerque MR, Macedo MCM, Teixeira PC, Amaral AJ, Bortolon E, Bortolon L. **Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, p. 1003-1020, set. 2016.
- Fidalski J, Tormena CA, Silva AP. **Qualidade Física do solo em pomar de laranja no noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha.** Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.31 no.3 Viçosa May./June 2007.
- Figueiredo CC, Resck DVS, Carneiro MAC. **Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 907-916, 2010.
- Franzluebbers AJ. **Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality.** Soil & Tillage Research, v. 66, p. 95–106, 2002.
- Llanillo RF, Richart A, Filho JT, Guimarães MF, Ferreira RRM. **Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais.** Ciências Agrárias, vol. 27, núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 205-220.
- Macedo MCM. **Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, p. 133-146, 2009.
- Matias SSR, Correia MAR, Camargo LA, Farias MT, Centurion JF, Nóbrega JCA. **Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias ISSN (on line) 1981-0997 v.7, n.3, p.414-420, jul.-set., 2012.
- Nunes RS, Lopes AAC, Sousa DMG, Mendes IC. **Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho.** R. Bras. Ci. Solo, 35:1407-1419, 2011.
- R Core Team (2016). R: **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sá JCM, Lal R. **Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol.** Soil & Tillage Research, v. 103, p. 46-56, 2009.
- Sá JCM, Lal R, Cerri CC, Lorenz K, Hungria M, Carvalho PCF. **Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security.** Environment International, v. 98, p. 102-112, 2017.
- Sá JCM, Lal R. **Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol.** Soil & Tillage Research, v. 103, p. 46-56, 2009.
- Salton JC, Mercante FM, Tomazi M, Zaatta JA, Concenço G, Silva WM, Retore M. **Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system.** Agriculture,

Ecosystems and Environment, v. 190, p. 70-79, 2014.

Salvo L, Hernández J, Ernst O. **Soil organic carbon dynamics under different tillage systems in rotations with perennial pastures.** *Soil & Tillage Research*, v. 135, p. 41–48, 2014.

Silva CA, Rosset JS, Morais DHO, Santos TMD, Castilho SCP. **Carbono orgânico total e estoque de carbono em diferentes sistemas de manejo na região conesul do Mato Grosso do Sul.** VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campo Grande/MS – 27 a 30/11/2017.

Silva GN, Bonetti JA, Souza ED, Paulino HB, Carneiro MAC. **Management systems and soil use on fractions and stocks of organic carbono and nitrogen total in cerrado latosol.** *Bioscience Journal*, v. 32, p. 1482-1492, 2016.

NUTRITIONAL AND PHENOLOGICAL INFLUENCE IN ESSENTIAL OILS OF *Eugenia dysenterica* ("CAGAITEIRA")

Yanuzi Mara Vargas Camilo

Centro Universitário de Anápolis-Unievangélica
Anápolis - Goiás

Eudécio Bonfim dos Santos Dias

Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química
Goiânia, Goiás

Eli Regina Barboza de Souza

Universidade Federal de Goiás, Escola de
Agronomia
Goiânia, Goiás

Suzana Costa Santos

Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química
Goiânia, Goiás

José Realino de Paula

Universidade Federal de Goiás, Faculdade de
Farmácia
Goiânia, Goiás

Pedro Henrique Ferri

Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química
Goiânia, Goiás

RESUMO: O padrão de variabilidade química dos óleos essenciais das folhas de *E. dysenterica* cultivadas foi obtido por análises quimiométricas. Trocas na fenologia das amostras, previamente definidas a partir de três Unidades Químicas Operacionais (UCOs), combinadas com a

precipitação e conteúdo de Mn^{2+} foliar, como variáveis ambientais, indicaram que 49,9% da variação total dos óleos podem ser explicados por esses preditores. O particionamento da variação mostrou que 46,5% da variação total foram explicadas conjuntamente pela origem das amostras (UCO) e variáveis ambientais. A maior contribuição pura foi atribuída aos preditores ambientais (20,9%), seguida da UCO (15,8%). Embora as trocas na fenologia das amostras contribuíssem com um pequeno percentual (3,4%), ela foi significativa. A maior contribuição total para a variação nos óleos foi observada para o preditor ambiental (27,9%), seguida da UCO (18,2%), enquanto que o preditor fenológico total explicou 10,8% da variabilidade dos óleos essenciais. Os resultados forneceram uma plataforma para o qual os órgãos governamentais possam compreender a variabilidade química em espécies vegetais em relação aos estádios de desenvolvimento da planta e às influências ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: cagaiteira, óleos essenciais, variabilidade química, fenologia, influência ambiental

ABSTRACT: Variability patterns of leaf essential oils from cultivated *E. dysenterica* were performed using chemometric analyses. Phenological changes in samples from three previously defined Operational Chemical Units

(OCUs), combined with rainfall and foliar Mn²⁺ contents as environmental variables, indicated that 49.9% of total variation in oil data should be explained by these predictors. Variation partitioning showed that 46.5% of oil variability can be jointly explained by OCU origin and environmental variables. The largest pure contribution was due to environmental predictors (20.9%), followed by OCU origin (15.8%). Even though samples' phenological stage offered a small pure contribution (3.4%), it was significant. The highest total contribution to the oil variations was observed for environmental predictor (27.9%), followed by UCO origin (18.2%), while total phenological predictor explained 10.8% of the essential oil variability. Results provide a platform from which to further pursue the understanding of chemical variability in plant species along to phenological changes and in relation to environmental influences.

KEYWORDS: cagaiteira, essential oil, chemical variability, phenology, environmental influence.

1 | INTRODUCTION

The biosynthesis of essential oils involves genetic control, even though the influence of environmental factors has been demonstrated for a variety of species (BASER; BUCHBAUER, 2010). This chemical plasticity often occurs under biotic or abiotic stress and plays an important role in an individual's adaptation to the environment, allowing the formation of new communities (BRUNETTI et al., 2013). The adaptive characteristics of essential oils may thus be useful as indicators of changes that affect the structure of the plant population under chemical, genetic, and ecological aspects. The factors responsible for the chemical structure of plant populations, in addition to the way in which the plant adapts to a local level, may lead to new strategies to government programs for the conservation of native species.

Cagaiteira (*E. dysenterica* DC.; Myrtaceae) is a deciduous perennial plant found in the various phytogeographies of central Brazilian Cerrado. Its populations have been severely depleted and fragmented due to overcollecting and habitat destruction caused by the expansion of the agricultural frontier. Habitat fragmentation and spatial isolation increase populations' genetic drift and differentiation among them, as well as reduce their future adaptation to environmental changes (SANO et al., 2010). Therefore, knowledge of genetic diversity and structure among *E. dysenterica* populations is required for the development of appropriate conservation and breeding programs.

According to a recent finding (VILELA et al., 2013), the structure of *E. dysenterica* populations based on oil chemical variability agrees with the pattern of genetic variability among populations, based on morphological descriptors (TELLES et al., 2003), isozymes (TRINDADE; CHAVES, 2005), and genetic markers (BARBOSA et al., 2015). On the other hand, there is a clear environmental influence on phenotypic differentiation, given the morphological and chemical characteristics of regions where these populations are found (DUARTE et al., 2012; TRINDADE; CHAVES, 2005).

Results from these studies have shown that populations located closer than 120 km from each other have a high similarity based on these genetic and chemical descriptors. Populations located below this range can be considered chemically and genetically homogeneous and therefore be defined as an operational chemical unit (OCU) for purposes of conservation and management (TRINDADE; CHAVES, 2005; VILELA et al., 2013).

Regarding the chemovariability in leaf oils, southeast wild populations in Goiás State, have been classified into three OCUs (Fig. 1): C1, populations from Catalão (1), Três Ranchos (2), and Luziânia (3); C2, Campo Alegre de Goiás (4) and Cristalina (5); and C3, Goiânia (6) and Senador Canedo (7) (VILELA et al., 2013). However, so far the influence of phenological changes in the plant as well as of environmental factors on the chemical variability of essential oils in *E. dysenterica* OCUs has not been described.

Chemovariations in essential oils can be used as an additional tool in establishing conservation areas and meeting the representation of concepts and minimum viable population for the species' management and conservation strategies.

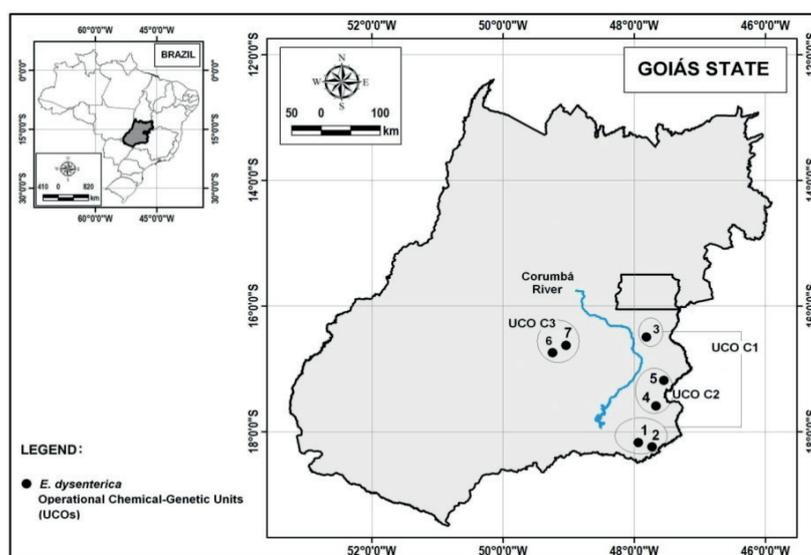


Figure 1. *E. dysenterica* operational chemical units (UCOs) of Goiás State, Brazil: C1: wild populations from 1 = Catalão, 2 = Três Ranchos and 3 = Luziânia; C2: 4 = Campo Alegre de Goiás and 5 = Cristalina; C3: 6 = Goiânia and 7 = Senador Canedo.

We now report on the chemical composition in leaf essential oils and their variability patterns from cultivated *E. dysenterica* germplasm collection representing the three OCUs over different phenological changes, to provide additional resources for conservation, management, domestication, and breeding programs concerning this native Cerrado species.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 Study area

This study was carried out in a single experimental field (S 16°35'39", W

49°17'23", 716 m) belonging to the School of Agronomy of Universidade Federal de Goiás (SA/UFG), Goiânia, Goiás State, Brazil. The area consists exclusively of 19-year-old trees in the spacing 6.0 m × 6.0 m. The germplasm collection contains 440 plants from 110 progenies originated from ten *E. dysenterica* wild populations from southeast Goiás and incorporating the three OCUs. Plants were grown in the form of a randomized block design with four replications, and their local environmental effect was fully randomized.

In the area where the research was conducted, the average annual rainfall is considered to be very low, averaging 114 mm, ranging from 0.0 mm in the driest months (May to August) to 393 mm in the wet months (November to January). Climatic data were obtained from the meteorological station distant 2 km from the study area. The soil of the region is a dystrophic red-yellow latosol; are deep soils, well drained for most of the year, Al³⁺ toxicity and are poor in essential nutrients, such as Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺ (2.1, 0.8 and 0.09 cmol_c dm⁻³, respectively), and some micronutrients. The study area has never been fertilized or has received limestone.

2.2 Plant material

Leaves essential oils were obtained from cultivated plants belonging to three OCUs. Each OCU was considered as a homogeneous composite sample collected in three periods: March 2013, during wet season with plant's vegetative phenophase; July 2013, dry season and with plant's senescence; and October 2013, at the onset of the rainy season and the plant's fruiting stage. There were, hence, 36 composite samples (3 OCUs × 3 times × 4 replicates). *E. dysenterica* is a deciduous tree, so it loses its leaves in the flowering phase. Thus, samples in this stage were not included in data collection. A voucher specimen is deposited at the Herbarium (UFG40611).

2.3 Oil analyses

To assess essential oils, leaves were dried for 7 days at 30°C until constant weight. After being powdered, each dried phytomass (150 g) was submitted to hydrodistillation (3 h) using a Clevenger-type apparatus. At the end of each distillation oils were collected, dried with anhydrous Na₂SO₄, transferred to glass flasks, and kept at a temperature of -18°C until analysis. Oil yields (%) were based on the dried weight of plant samples.

A Varian CP3900 gas chromatograph (GC) with flame ionization detector (FID) was used for the compositional analysis of oils. Samples (0.4 ml in hexane 20% v/v) were injected in the split mode in a DB-5 (J&W Scientific) fused silica capillary column (30 m × 0.25 mm, 0.25 mm film thickness). Chromatographic conditions: injector and detector temperature were 220°C and 240°C, respectively; column temperature was programmed from 60°C to 240°C at 3°C min⁻¹; carrier gas: N₂ at a flow of 1 ml min⁻¹. Constituents' relative percentages were determined from GC peak areas without correction factors. Gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) were performed

with a Shimadzu QP505A with a flow rate of 1 ml min⁻¹ (helium); column, injector, interface, and programmed heating temperatures were the same as above. Samples' injection with a 1:20 ratio, in EI mode at 70 eV, mass of 40-400 *m/z*, and speed of 1 scan s⁻¹. Oil constituents were identified by comparing their arithmetic indices (AI) and mass spectra with those of the literature (ADAMS, 2007). AI were calculated by linear hydrocarbon (C₈-C₃₂) co-injection (DOOL & KRATZ, 1963).

2.4 Leaf nutrients

Macro and micronutrients from each sample were determined by usual methods (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Concentrations of Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, Co²⁺ and Mo²⁺ were measured by flame atomic absorption spectrometry (AAS, Perkin Elmer), phosphorous was determined by spectrophotometry (DU-70 Spectrophotometer, Beckman), total nitrogen by micro-Kjeldahl digestion, and sulfur by gravimetric analysis.

2.5 Statistical analyses

Multivariate analysis was conducted by CANOCO software (TER BRAAK; ŠMILAUER, 2012). Oil constituents were ordered in a response matrix (36´30), with lines representing samples and oil constituents in columns as variables. Six climatic variables and 13 parameters of leaf nutrients were arranged in an explanatory data (environmental matrix; 36´21). Multichotomic variables representing factors on different levels were added to a better representation of the experimental design. These factors were the plant's phenological stages (senescence, fruiting, and vegetation), seasonal change (dry, transitional, and rainy season) and samples' original OCUs (C1-C3).

Redundancy analysis (RDA) was used to measure the association between response and explanatory matrices. Monte Carlo permutation test (999 permutations) was used to test the eigenvalue significance of the first canonical axis as well as the sum (trace) of all canonical axes. Variance inflation factor of variables (VIF) was used to the selection of explanatory variables, avoiding multicollinearity in multivariate regressions (TER BRAAK; ŠMILAUER, 2012).

Total variation partitioning of response data was obtained through partial RDAs (pRDAs) using the explanatory data reordered into three sets: OCU origin, phenological stages and environmental data (foliar nutrients and climate variables). Significant terms in each set were selected by forward selection procedure with VIF acting to decrease error type I. Variation partitioning yielded fractions of response data variation, which represent variation within and across sets of explanatory variables, as well as an unexplained variation by predictor data sets. Prior to the multivariate analysis, the response matrix was transformed to log(x+1), mean-centered, and standardized. Multiple comparisons were established by ANOVA with Tukey's *post-hoc* test using SAS GLM procedure. *p*-Values below 0.05 were regarded as significant.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

The largest variations for minimum and maximum temperatures occurred in July 2012 (11.8°C, senescence) and October 2012 (32.0°C, fruiting), respectively. In turn, the highest average relative humidity and total rainfall were observed during the vegetative phenophase (62.0% and 228.4 mm). During senescence there was no rainfall, which is typical of July in central Brazilian Cerrado. For species with big-bang flowering strategies such as *E. dysenterica*, whose synchronization is precise and the flowering period is short, the onset of flowering is environmentally cued by changes in humidity over the dry/rainy season transition (PROENÇA; GIBBS, 1994).

As regards foliar data collection, foliar nutrients did not reveal any interaction effects between OCU origin and phenological changes. Nutrients such as Ca²⁺, Mg²⁺, S, Fe³⁺, Co²⁺, Mo²⁺, and Na⁺ failed to share significant differences according to OCU origin or phenological changes, respectively (results did not show). The main foliar nutrient features with the highest contents were N and K⁺ during the fruiting stage and P, K⁺, Zn²⁺ and Mn²⁺ in samples from OCU C3. Senescence samples showed the highest values of Cu²⁺ and Mn²⁺, whereas the vegetative phenophase was characterized by the highest Co²⁺ contents. The fruiting phase also showed the lowest values of Ca²⁺, Mg²⁺, Fe³⁺, Zn²⁺ and Mo²⁺.

There has been little research on the effect of foliar nutrients on timing of phenological events (JOCHNER et al., 2013), in comparison to the effects of soil fertilization on phenology, with most predominantly related to agriculture and horticulture (YANG; ZHANG; LI, 2011), and less frequently to forest science (COLGAN et al., 2015). In Cerrado, seasonal variation of nutrients is related to uptake and retranslocation, which is important for the conservation of elements in low nutrient availability (VILELA; LACERDA, 1992). It has been reported that *E. dysenterica* accumulates a small amount of nutrients in its leaf and that variation in soil fertilization does not change mineral ratio in the leaves (BRITO et al., 2003). However, the influence of nutrient content such as P, K⁺, Mg²⁺ and Cu²⁺ in this species' leaf oil has been reported (VILELA et al., 2013). Despite a small contribution (8%), it was significant in explaining leaf oil variability.

Similarly to other studies (MOGHADDAM et al., 2014), oil yields show differences in relation to seasonal progress and sample origin (OCU). The highest oil yields (0.43%) were obtained from Goiânia and Senador Canedo (C3), during the dried (senescence) to rainy (vegetative) transition. In total, 30 constituents were identified, accounting for 85-98% of volatiles (Table 2).

Constituent	RI ^b	Phenological stage	Operational chemical unit ^c		
			C1	C2	C3
a-Pinene ^d	930	Senescence	3.05 ^{Aa}	2.83 ^{Aa}	4.16 ^{Aa}
		Fruiting	1.00 ^{Ba}	1.02 ^{Ba}	0.73 ^{Ba}
		Vegetative	1.81 ^{ABa}	1.86 ^{ABa}	2.36 ^{ABa}
β-Pinene ^d	973	Senescence	1.29 ^{Aab}	0.95 ^{Ab}	3.27 ^{Aa}
		Fruiting	0.65 ^{Bab}	0.32 ^{Bb}	0.61 ^{Ba}

Myrcene ^d	986	Vegetative	1.46 ^{ABab}	1.18 ^{ABb}	2.61 ^{ABa}
		Senescence	0.49 ^{Ab}	0.25 ^{Ab}	2.09 ^{Aa}
		Fruiting	0.25 ^{Bb}	0.08 ^{Bb}	0.41 ^{Ba}
Limonene ^d	1025	Vegetative	0.52 ^{ABb}	0.26 ^{ABb}	1.62 ^{ABa}
		Senescence	1.33 ^{Aa}	1.69 ^{Aa}	4.07 ^{Aa}
		Fruiting	1.36 ^{Aa}	0.71 ^{Aa}	0.90 ^{Aa}
<i>(Z)</i> - β -Ocimene ^d	1033	Vegetative	2.59 ^{Aa}	1.53 ^{Aa}	2.72 ^{Aa}
		Senescence	1.94 ^{Aa}	1.27 ^{Aa}	0.49 ^{Aa}
		Fruiting	0.92 ^{Aa}	0.75 ^{Aa}	0.45 ^{Aa}
<i>(E)</i> - β -Ocimene ^d	1043	Vegetative	1.52 ^{Aa}	1.65 ^{Aa}	0.83 ^{Aa}
		Senescence	0.61 ^{Aa}	0.30 ^{Aa}	0.25 ^{Aa}
		Fruiting	0.27 ^{Aa}	0.10 ^{Aa}	0.31 ^{Aa}
Linalool	1097	Vegetative	0.67 ^{Aa}	0.27 ^{Aa}	0.64 ^{Aa}
		Senescence	0.84 ^{Ba}	0.76 ^{Ba}	0.53 ^{Ba}
		Fruiting	0.69 ^{Ba}	0.80 ^{Ba}	0.55 ^{Ba}
<i>a</i> -Terpineol	1188	Vegetative	1.10 ^{Aa}	1.01 ^{Aa}	0.94 ^{Aa}
		Senescence	1.55 ^{Ab}	1.43 ^{Aa}	0.80 ^{Ab}
		Fruiting	0.18 ^{Ba}	1.00 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
<i>a</i> -Copaene	1375	Vegetative	0.85 ^{Ab}	1.51 ^{Aa}	0.87 ^{Ab}
		Senescence	3.49 ^{Bb}	4.82 ^{Ba}	1.63 ^{Bc}
		Fruiting	5.93 ^{Ab}	8.41 ^{Aa}	3.35 ^{Ac}
<i>(E)</i> -Caryophyllene	1421	Vegetative	6.33 ^{Ab}	9.75 ^{Aa}	2.66 ^{Ac}
		Senescence	12.25 ^{Bab}	14.65 ^{Ba}	13.67 ^{Bb}
		Fruiting	24.16 ^{Aab}	30.58 ^{Aa}	19.53 ^{Ab}
<i>a</i> -Guaiene ^d	1437	Vegetative	29.12 ^{Aab}	34.10 ^{Aa}	22.36 ^{Ab}
		Senescence	0.23 ^{Aa}	1.41 ^{Aa}	0.90 ^{Aa}
		Fruiting	0.40 ^{Aa}	1.47 ^{Aa}	0.46 ^{Aa}
<i>a</i> -Humulene	1455	Vegetative	0.59 ^{Aa}	0.98 ^{Aa}	0.43 ^{Aa}
		Senescence	13.57 ^{Ba}	7.31 ^{Bb}	13.83 ^{Ba}
		Fruiting	24.19 ^{Aa}	13.59 ^{Ab}	22.43 ^{Aa}
<i>g</i> -Muurolene	1475	Vegetative	21.57 ^{ABa}	11.12 ^{ABb}	18.87 ^{ABa}
		Senescence	1.05 ^{Aa}	1.15 ^{Aa}	0.40 ^{Ab}
		Fruiting	0.90 ^{Aa}	1.18 ^{Aa}	0.54 ^{Ab}
β -Selinene ^d	1485	Vegetative	0.10 ^{Aa}	1.08 ^{Aa}	0.45 ^{Ab}
		Senescence	0.65 ^{Ab}	0.51 ^{Ab}	3.65 ^{Aa}
		Fruiting	0.90 ^{Ab}	0.45 ^{Ab}	2.37 ^{Aa}
<i>d</i> -Selinene ^d	1490	Vegetative	0.17 ^{Ab}	0.74 ^{Ab}	2.45 ^{Aa}
		Senescence	0.75 ^{Aa}	3.47 ^{Aa}	1.25 ^{Aa}
		Fruiting	2.76 ^{Aa}	3.55 ^{Aa}	1.99 ^{Aa}
<i>cis</i> - β -Guaiene ^d	1494	Vegetative	1.59 ^{Aa}	1.95 ^{Aa}	1.86 ^{Aa}
		Senescence	0.23 ^{Ab}	0.66 ^{Ab}	2.30 ^{Aa}
		Fruiting	1.19 ^{Ab}	0.78 ^{Ab}	2.33 ^{Aa}
<i>a</i> -Muuroleno ^d	1498	Vegetative	0.33 ^{Ab}	0.45 ^{Ab}	1.73 ^{Aa}
		Senescence	1.98 ^{Aab}	0.95 ^{Ab}	3.04 ^{Aa}
		Fruiting	3.70 ^{Aab}	1.57 ^{Ab}	4.68 ^{Aa}
<i>a</i> -Bulnesene ^d	1505	Vegetative	1.68 ^{Aab}	0.86 ^{Ab}	3.82 ^{Aa}
		Senescence	0.10 ^{Aa}	2.11 ^{Aa}	0.26 ^{Aa}
		Fruiting	3.63 ^{Aa}	3.22 ^{Aa}	1.19 ^{Aa}
		Vegetative	0.91 ^{Aa}	1.66 ^{Aa}	0.78 ^{Aa}

g-Cadinene	1515	Senescence	3.95 ^{Ab}	5.01 ^{Ab}	20.37 ^{Aa}
		Fruiting	2.74 ^{ABb}	2.11 ^{ABb}	15.58 ^{ABa}
		Vegetative	1.96 ^{Bb}	1.45 ^{Bb}	15.11 ^{Ba}
7- <i>epi</i> - α -Selinene ^d	1518	Senescence	0.97 ^{Aa}	1.79 ^{Aa}	0.71 ^{Aa}
		Fruiting	3.96 ^{Aa}	0.84 ^{Aa}	0.65 ^{Aa}
		Vegetative	0.41 ^{Aa}	0.63 ^{Aa}	0.75 ^{Aa}
d-Cadinene	1524	Senescence	14.03 ^{Ab}	18.93 ^{Aa}	4.40 ^{Ac}
		Fruiting	1070 ^{Ab}	19.99 ^{Aa}	6.86 ^{Ac}
		Vegetative	13.58 ^{Ab}	18.84 ^{Aa}	4.39 ^{Ac}
α -Calacorene ^d	1541	Senescence	1.28 ^{Aa}	1.06 ^{Aa}	0.41 ^{Aa}
		Fruiting	0.27 ^{Aa}	0.34 ^{Aa}	0.56 ^{Aa}
		Vegetative	0.21 ^{Aa}	0.20 ^{Aa}	0.56 ^{Aa}
Caryophyllene oxide ^d	1584	Senescence	11.05 ^{Aa}	10.05 ^{Aa}	4.98 ^{Aa}
		Fruiting	0.78 ^{Ba}	0.32 ^{Ba}	0.51 ^{Ba}
		Vegetative	1.12 ^{Ba}	1.02 ^{Ba}	0.79 ^{Ba}
Ledol ^d	1603	Senescence	1.17 ^{Aa}	0.46 ^{Aab}	0.10 ^{Ab}
		Fruiting	0.28 ^{Ba}	0.10 ^{Bab}	0.10 ^{Bb}
		Vegetative	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Bab}	0.10 ^{Bb}
Humulene epoxide II ^d	1610	Senescence	6.81 ^{Aa}	3.41 ^{Ab}	3.67 ^{Aab}
		Fruiting	0.91 ^{Ba}	0.23 ^{Bb}	0.32 ^{Bab}
		Vegetative	1.04 ^{Ba}	0.32 ^{Bb}	0.52 ^{Bab}
1,10-di- <i>epi</i> -Cubenol	1618	Senescence	1.43 ^{Aa}	1.81 ^{Aa}	0.35 ^{Aa}
		Fruiting	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
		Vegetative	0.23 ^{Aa}	0.19 ^{Aa}	0.10 ^{Aa}
Muurola-4,10(14)-dien-1 β -ol ^d	1629	Senescence	5.14 ^{Aa}	4.08 ^{Aa}	0.83 ^{Ab}
		Fruiting	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
		Vegetative	0.40 ^{Ba}	0.38 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
<i>allo</i> -aromadendrene epoxide ^d	1634	Senescence	2.31 ^{Aa}	0.95 ^{Aa}	1.06 ^{Aa}
		Fruiting	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
		Vegetative	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
Selina-3,11-dien-6a-ol ^d	1637	Senescence	1.95 ^{Aa}	1.93 ^{Aa}	0.69 ^{Aa}
		Fruiting	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
		Vegetative	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
Selin-11-en-4a-ol ^d	1655	Senescence	0.86 ^{Aa}	0.66 ^{Aa}	0.40 ^{Aa}
		Fruiting	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
		Vegetative	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}	0.10 ^{Ba}
Monoterpene hydrocarbons ^d		Senescence	8.40 ^{Aa}	7.28 ^{Aa}	14.31 ^{Aa}
		Fruiting	4.44 ^{Aa}	2.97 ^{Aa}	3.40 ^{Aa}
		Vegetative	8.57 ^{Aa}	6.75 ^{Aa}	10.78 ^{Aa}
Oxygenated monoterpenes ^d		Senescence	2.39 ^{Aab}	2.19 ^{Aa}	1.33 ^{Ab}
		Fruiting	0.87 ^{Bab}	1.80 ^{Ba}	0.65 ^{Bb}
		Vegetative	1.95 ^{Aab}	2.52 ^{Aa}	1.80 ^{Ab}
Sesquiterpene hydrocarbons ^d		Senescence	54.49 ^{Ba}	63.80 ^{Ba}	66.82 ^{Ba}
		Fruiting	85.43 ^{Aa}	88.05 ^{Aa}	82.51 ^{Aa}

Oxygenated sesquiterpenes ^d	Vegetative	79.43 ^{Aa}	83.79 ^{Aa}	76.21 ^{Aa}
	Senescence	30.72 ^{Aa}	23.34 ^{Aab}	12.09 ^{Ab}
	Fruiting	2.46 ^{Ba}	1.14 ^{Bab}	1.43 ^{Bb}
	Vegetative	3.18 ^{Ba}	2.04 ^{Bab}	1.91 ^{Bb}
Oil yield (% wt/dry wt)	Senescence	0.19 ^{Bb}	0.18 ^{Bb}	0.35 ^{Ba}
	Fruiting	0.24 ^{Ab}	0.25 ^{Ab}	0.47 ^{Aa}
	Vegetative	0.22 ^{Ab}	0.21 ^{Ab}	0.48 ^{Aa}

Table 1. Percentage^a of essential oil constituents from cultivated *E. dysenterica* leaves according to operational chemical unit (OCU) and different phenological stages.

^aBased on original data; ^bRetention Index; ^cC1: Catalão, Três Ranchos, and Luziânia; C2: Campo Alegre de Goiás and Cristalina; C3: Senador Canedo and Goiânia; ^dRank-transformed in ANOVA. Averages followed by the same capital letter in the columns and by the same small letter in the rows did not share significant differences at 5% probability by Tukey's test.

Essential oils mainly reveal sesquiterpene hydrocarbon compositions (61.7-85.3%), results in accordance with those obtained by Duarte et al. (2012). ANOVA showed that interaction between OCU and sample phenophases only occurred in minor constituents, such as muurola-4,10(14)-dien-1 β -ol, *allo*-aromadendrene epoxide and selina-3,11-dien-6a-ol. The highest amount occurred in senescence samples from OCU C1 (5.14%) and C2 (4.08%) for muurola-4,10(14)-dien-1 β -ol. Differences were also found according to OCU origin and phenological stage but were devoid of any interaction. Thus, (*E*)-caryophyllene (24.75% and 28.52%), α -humulene (20.07% and 17.19%), and sesquiterpene hydrocarbons (85.33% and 79.81) revealed the highest amounts from samples in fruiting and vegetative phases, respectively, whereas *g*-cadinene (9.78%), and oxygenated sesquiterpenes (22.05%) predominate in senescence samples, all regardless of OCU origin.

On the other hand, quantitative differences were obtained solely from OCU origin regardless of the phenological stage, and with the highest percentage in samples from OCU C1 and C2, such as (*E*)-caryophyllene (C1: 21.84%; C2: 26.44%) and oxygenated sesquiterpenes (12.12%; 8.84%); OCU C1 and C3, as α -humulene (19.78%; 19.38%); only OCU C2, as *d*-cadinene (19.25%) or *g*-cadinene (17.03%) in OCU C3. Despite low to moderate percentages (0.23-10.1%), constituents as limonene, (*Z*) and (*E*)- β -ocimene, α -guaiene, *d*-selinene, α -bulnesene, 7-*epi*- α -selinene, α -calacorene, and monoterpene hydrocarbons did not reveal any significant differences between samples from different OCU and/or plant phenophases.

At the end of multivariate data modelling, five explanatory parameters were selected for the RDA, containing OCU (C2 and C3), phenological stage (fruiting), climate (average monthly rainfall), and leaf nutrient (Mn²⁺) (Fig. 2).

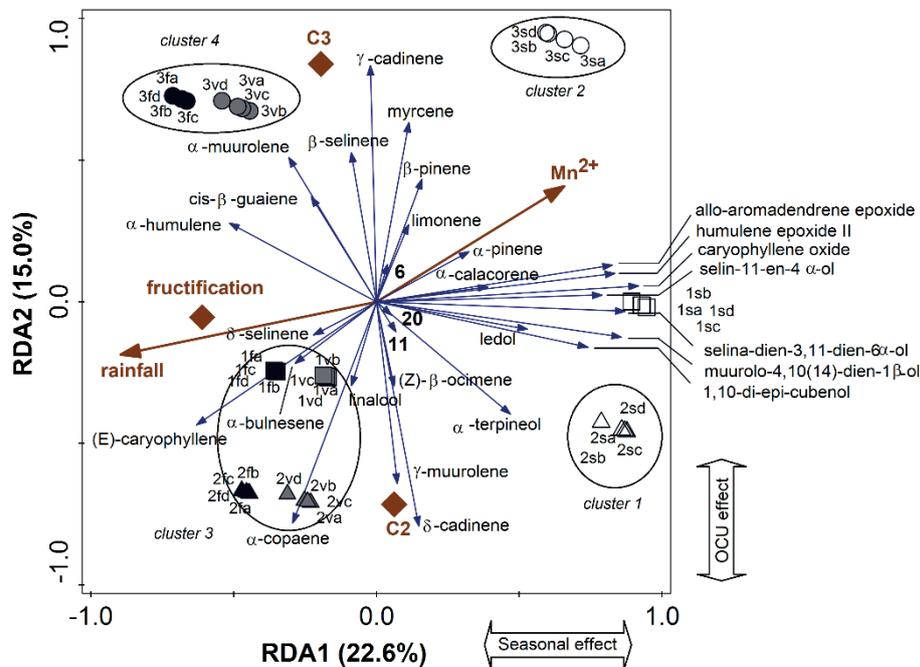


Figure 2. RDA triplot showing the distribution of *E. dysenterica* samples according to leaf essential oils explained by OCU origin (C2, C3), phenological stage (fruiting), foliar nutrients (Mn^{2+}), and climate (average monthly rainfall). The OCUs are represented by squares (C1), triangles (C2), and circles (C3), while samples in senescence, fruiting, and vegetative phenophases are represented by empty, gray-filled and black-filled symbols.

The RDA results indicated that correlations between the two data sets were higher in the first two canonical axes (0.918 and 0.898) with VIF-values low (< 5.9), suggesting no multicollinearity in models. Monte Carlo permutation test showed highly significant results for the axes (RDA1: 22.6% of explained variance, F -Fischer = 8.8, $p = 0.001$; RDA2: 15.0%, $F = 7.2$, $p = 0.001$), indicating that variation patterns in the original data do not arise by chance. The sum of the canonical axes was also highly significant ($trace = 0.499$; $F = 5.9$, $p = 0.001$), so that 49.9% of total variance in the essential oils was retained by selected explanatory variables. According to Fig. 2, an increase in the RDA1 axis is mainly associated with an increase in sesquiterpene oxidation in oils and foliar Mn^{2+} accumulation during senescence, whereas the average monthly rainfall decreases regardless of OCU origin. An increase in RDA1 showed that oxygenated sesquiterpenes, as caryophyllene oxide, strongly correlate with foliar Mn^{2+} . These conditions are related to samples from cold and dry winter coinciding with senescence, which suggests a seasonal influence on RDA1.

The positive and negative correlations of caryophyllene oxide and (E)-caryophyllene with foliar Mn^{2+} , respectively, are consistent with the effects of different dosages of Zn^{2+} and Mn^{2+} (EL-SAWI; MOHAMED, 2002) applied to cumin (*Cuminum cyminum* L). The effects of micronutrients in the biosynthesis of these terpenes exhibit the importance and need for a divalent metal as cofactor for enzyme synthases (PICAUD et al., 2005). It has been shown that Mn^{2+} promotes g-humulene formation, while other terpenes are reduced.

In *Mentha x piperita* L. the only by-product (d-cadinene) produced by (E)-b-

farnesene synthase in the presence of Mg^{2+} was completely absent in the presence of Mn^{2+} (CROCK; WILDUNG; CROTEAU, 1997), a result similar to the effect shown in Fig. 2, in which a decrease in d-cadinene is correlated with an increase in foliar Mn^{2+} . Also in relation to Fig. 2, an increase in RDA2 relates to samples of OCU C3, which showed the highest levels of monoterpenes and monoterpene hydrocarbons, regardless of sample phenology. Thus, RDA2 shows changes in the biosynthetic class of oils according to samples' OCUs.

In RDA, the pooled samples from clusters 1 and 3 originated from *E. dysenterica* sampling sites in Catalão, Três Ranchos, Luziânia, Campo Alegre de Goiás, and Cristalina (OCUs C2 and C3), whereas clusters 2 and 4 were only formed by samples from Goiânia and Senador Canedo (OCU C3). Such separation is geographically justified by the east (clusters 1 and 3) and west (clusters 2 and 4) of the Corumbá River basin (see Fig. 1), a finding which may foster consideration of different conservation units and permanence of at least one population from each region, based only on leaf oils. This geographical barrier could contribute at least partially to ecological isolation, a prerequisite for speciation between the two sites. These results are consistent with those based on morphological descriptors, isozymes (TELLES et al., 2003; TRINIDAD; CHAVES, 2005), and genetic markers (BARBOSA et al., 2015), in addition to the variability of leaf essential oils (VILELA et al., 2013).

Although RDA was able to quantify the total variance accounted by explanatory variables, she shed little light on the kind of relationship that exists between OCU origin, plant phenophases, and leaf nutrients in the sampled data. For this aim, variation partitioning was performed on response chemical data (PERES-NETO et al., 2006). In this work, the response matrix were conditioned to three sets of predictor variables: OCU, phenological stage of samples, as well as climate variables and foliar macro- and micronutrients grouped as environmental data set (Table 2).

Effects and variables	Covariables	Fraction of variation	Explained variation (%)	F	P ^a
Total effect					
OCU, phenological, environmental		[a-g]	49.9	6.0	0.001
Partial effects					
OCU	Phenological, environmental	[a]	15.8	4.7	0.001
OCU		[a+d+f+g]	18.2	3.7	0.001
Phenological	OCU, environmental	[b]	3.4	2.0	0.031
Phenological		[b+d+e+g]	10.8	4.1	0.002
Environmental	OCU, phenological	[c]	20.9	6.3	0.001
Environmental		[c+e+f+g]	27.9	6.4	0.001
Joint effects					
OCU, phenological		[d]	2.8		

Environmental, phenological	[e]	7.4
OCU, environmental	[f]	2.4
OCU, phenological, environmental	[g]	-2.8
Residuals	[h]	50.1

Table 2. Variance partitioning summary of leaf oil of *E. dysenterica* through partial RDAs.

^aBased on the Monte Carlo permutation test (999 permutations). Predictors: OCU: C2 and C3; Phenological: fruiting phenophase; Environmental: average monthly rainfall and foliar Mn²⁺.

Total variation (49.9%) in the oil data set ([a-g]) may be explained by predictor matrices, resulting in a model whose residue was 50.1% ([h]). The largest pure contribution was due to environmental set ([c] = 20.9%), followed by OCU ([a] = 15.8%). Despite offering a small pure contribution ([b] = 3.4%), samples' phenological stage was significant ($p < 0.031$). These results agree with the RDA analysis, whose explained variance in the first three canonical axes (RDA1: 22.6%; RDA2: 15.0%; RDA3: 7.3%) was attributed to environmental effect, OCU origin, and phenological influence in the samples. Moreover, the total contribution of OCU origin corresponds to 18.2% ([a+d+f+g]), whereas the phenology ([b+d+e+g]) explains 10.8% of total variability. The major contribution, in turn, was provided by the environmental predictor (27.9%; [c+e+f+g]). On the other hand, 46.5% of oil variability can be explained by OCU origin and environmental variables ([a+c+d+e+f+g]). The highest joint effect occurred between phenological and environmental sets, which explained 7.4% ([e]) of total variance in samples' oils. A negative contribution was obtained for the three sets of variables ([g] = -2.8%). This is due to the fact that joint effects are yielded by difference, not by parameters estimated by regression models.

Both the chemical composition of oils and the plant development, and thus phenological phases show great interannual variability. Individual (genes, age) and environmental factors (weather, diseases, competition etc.) can simultaneously contribute to these variations (BASER; BUCHBAUER, 2010). In contrast to many other studies (MOGHADDAM et al., 2014; PORRES-MARTÍNEZ et al., 2014), changes in the environmental variables during phenological stages were measured and a variation partitioning approach resulted in statistically significant pure and shared effects on the oil variations.

Variation partitioning has been used to assess the contribution of environmental factors and spatial variability associated with essential oils and phenolic content of wild and cultivated *Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg., Myrtaceae, jabuticabeira (DUARTE et al., 2012). Similarly to the present work, environmental factors also showed greater influence on phenolic contents in *M. cauliflora* leaves. Thus, chemovariations in the leaf oils of *E. dysenterica* could reflect specific phenological and environmental factors, its chemical composition being influenced by climatic parameters and foliar contents.

4 | CONCLUSIONS

The chemical variability of leaf essential oils from cultivated *E. dysenterica* is correlated with environmental factors such as rainfall and foliar nutrients, as well as phenological changes in the samples and the OCUs of original populations. Samples showed a higher chemical variability as defined by the Corumbá River basin, suggesting that at least two areas should be prioritized in government conservation and management programs of *E. dysenterica* in southeast Goiás. These results provide a platform from which we can further pursue our understanding of chemical variability in Cerrado plant species as regards ecological influences.

REFERENCES

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 4th ed. Illinois: Allured, 2007.

BARBOSA, A. C. O. F. et al. Range-wide genetic differentiation of *Eugenia dysenterica* (Myrtaceae) populations in Brazilian Cerrado. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 59, p. 288-296, abr. 2015.

BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. **Handbook of essential oils: science, technology, and applications**. New York: CRC Press, 2010.

BRITO, M. A. et al. **Cagaita: biologia e manejo**. Planaltina: Embrapa, 2003.

BRUNETTI, C. et al. Metabolomics in plant environmental physiology. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 13, p. 4011-4020, out. 2013.

COLGAN, M. S. et al. Tree foliar chemistry in an African savanna and its relation to life history strategies and environmental filters. **PLoS ONE**, v. 10, n. 5, e0124078, mai. 2015.

CROCK, J.; WILDUNG, M.; CROTEAU, R. Isolation and bacterial expression of a sesquiterpene synthase cDNA clone from peppermint (*Mentha ´ piperita*, L.) that produces the aphid alarm pheromone (*E*)- β -farnesene. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v. 94, n. 24, p. 12833-12838, nov. 1997.

DOOL, H. V. D.; KRATZ, P. D. A. generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography**, v. 11, p. 463-471, 1963.

DUARTE, A. R. et al. Influence of spatial, edaphic and genetic factors on phenols and essential oils of *Myrciaria cauliflora* fruits. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 4, p. 737-746, abr. 2012.

EL-SAWI, S. A.; MOHAMED, M. A. Cumin herb as a new source of essential oils and its response to foliar spray with some micro-elements. **Food Chemistry**, v. 77, n. 1, p. 75-80, mai. 2002.

JOCHNER, S. et al. Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen research? **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 7, p. 2081-2092, abr. 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

- MOGHADDAM, M. et al. Changes in composition and essential oil yield of *Ocimum ciliatum* at different phenological stages. **European Food Research and Technology**, v. 240, n. 1, p. 199-204, jan. 2014.
- MORELLATO, L. P. C. Phenological data, networks, and research: South America, In: Schwartz, M. D. (Ed). **Phenology: an integrative environmental science**. Dordrecht: Kluwer, 2003. p. 75-92.
- PERES-NETO, P. R. et al. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. **Ecology**, v. 87, n. 10, p. 2614-2625, out. 2006.
- PICAUD, S. et al. Expression, purification, and characterization of recombinant amorpho-4,11-diene synthase from *Artemisia annua* L. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 436, n. 2, p. 215-226, abr. 2005.
- PORRES-MARTÍNEZ, M. et al. Influence of phenological stage on chemical composition and antioxidant activity of *Salvia lavandulifolia* Vahl. essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 53, p. 71-77, fev. 2014.
- PROENÇA, C. E. B.; GIBBS, P. E. Reproductive biology of eight sympatric Myrtaceae from Central Brazil. **New Phytologist**, v. 126 n. 2, p. 343-354, fev. 1994.
- SANO, E. E., et al. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, jul. 2010.
- TELLES, M. P. C. et al. Genetic diversity and population structure of *Eugenia dysenterica* DC. ("cagaiteira" - Myrtaceae) in Central Brazil: spatial analysis and implications for conservation and management. **Conservation Genetics**, v. 4, n. 6, p. 685-695, nov. 2003.
- TER BRAAK, C. J. F.; ŠMILAUER, P. **Canonical reference manual and user's guide: software for ordination**. Version 5.0. Ithaca: Microcomputer Power, 2012.
- TRINDADE, M. G.; CHAVES, L. J. Genetic structure of natural *Eugenia dysenterica* DC (Myrtaceae) populations in northeastern Goiás, Brazil, accessed by morphological traits and RAPD markers. **Genetics and Molecular Biology**, v. 28, n. 3, p. 407-413, set. 2005.
- VILELA, D. M. J.; LACERDA, L. D. Dinâmica de nutrientes minerais em folhas de duas espécies arbóreas de Cerrado. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 52, n. 1, p. 151-160, 1992.
- VILELA, E. C. et al. Spatial chemometric analyses of essential oil variability in *Eugenia dysenterica*. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, n. 5, p. 873-879, mai. 2013.
- YANG, Q.; ZHANG, F.; LI, F. Effect of different drip irrigation methods and fertilization on growth, physiology and water use of young apple tree. **Scientia Horticulturae**, v. 129, n. 1, p. 119-126, mar. 2011.

QUIMIOVARIAÇÕES EM CASCAS E SEMENTES DE JABUTICABAS EM FUNÇÃO DOS NUTRIENTES DO SOLO DE CULTIVO DOS FRUTOS

Gustavo Amorim Santos

Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química
Goiânia - Goiás

Luciane Dias Pereira

Instituto Federal de Goiás
Anápolis - Goiás

Suzana da Costa Santos

Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química
Goiânia - Goiás

Pedro Henrique Ferri

Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química
Goiânia - Goiás

RESUMO: A jabuticaba é rica em polifenóis de importância biológica. Neste trabalho, polifenóis e outros metabólitos, além de parâmetros de coloração das cascas e sementes de frutos cultivados em cinco pomares foram investigados objetivando correlacionar a composição química dessas partes dos frutos com os solos de cultivo. As amostras foram obtidas de frutos da Fazenda Jabuticabal, Nova Fátima, Goiás. Macro e micronutrientes das amostras e dos solos foram analisados e submetidos às análises de redundância e de agrupamento. Os resultados conduziram ao reagrupamento das amostras em três classes de acordo com

as características dos solos de origem. Solos mais arenosos (valor médio de areia, 490 g/kg), com baixos níveis de nutrientes, apresentaram cascas com altos teores (g/100 g casca seca) de taninos (0,69), antocianinas (0,54), fenóis totais (2,91) e pedunculagina (0,04), enquanto sementes oriundas de solos com maior pH (4,5) e níveis mais elevados de P (4,6 mg/dm³), Ca²⁺ (1,7 cmol_c/dm³), Mg²⁺ (0,4 cmol_c/dm³), Fe³⁺ (215,4 mg/dm³), Mn²⁺ (37,0 mg/dm³) e Zn²⁺ (1,4 mg/dm³) apresentaram os maiores teores (g/100 g semente seca) de ácido elágico (0,09), vescalagina (2,9) e castalagina (2,4). Os frutos mais adequados para vinhos e sucos com propriedades sensoriais valorizados foram obtidos em solos arenosos mais pobres. Por outro lado, sementes de frutos cultivados em solos arenosos, mas ricos em nutrientes, foram indicadas como ingrediente funcional para a indústria farmacêutica ou alimentícia por apresentarem os maiores teores de vescalagina e castalagina. Assim, o manejo do solo é um importante parâmetro para a melhoria da qualidade desses subprodutos da jabuticaba.

PALAVRAS-CHAVE: *Myrciaria cauliflora*, frutos, variabilidade química, fertilidade do solo

ABSTRACT: Jabuticaba is rich in polyphenols of the biological importance. In this work, polyphenols and other metabolites, as well as the coloring parameters of the peels and fruit seeds

grown in five orchards were investigated in order to correlate the chemical composition of these parts with the cultivated soils. Samples were obtained from cultivated fruits of Jabuticabal Farm, Nova Fátima, Goiás State, Brazil. Macro and micronutrients of samples and soils were analyzed and submitted to canonical redundancy and cluster analyses. Results indicated that samples were clustered into three groups according to the soil origin. Sandy soils (sand average value 490 g/kg) with low nutrient levels showing peels with highest contents (mg/100 g dry peel) of tannins (0.69), anthocyanins (0.54), total phenols (2.91) and pedunculagin (0.04), while seeds from soils with higher pH (4.5) and highest levels of P (4.6 mg/dm³), Ca²⁺ (1.7 cmol_c/dm³), Mg²⁺ (0.4 cmol_c/dm³), Fe³⁺ (215.4 mg/dm³), Mn²⁺ (37.0 mg/dm³) and Zn²⁺ (1.4 mg/dm³) had the highest contents (mg/100 g dry seeds) of ellagic acid (0.09), vescalagin (2.9) and castalagin (2.4). The most suitable fruits for wine and juice with high sensorial properties were produced in poorer sandy soils. On the other hand, fruit seeds grown in sandy soils richer in nutrients were indicated as functional ingredient for pharmaceutical or food industry, because of highest vescalagin and castalagin levels. Thus, soil management was an important parameter for improving the quality of jabuticaba by-products.

KEYWORDS: *Myrciaria cauliflora*, fruits, chemical variability, soil fertility

1 | INTRODUÇÃO

A jabuticabeira (*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg; Myrtaceae) é uma árvore nativa do Brasil e encontrada principalmente na região centro-sul (OLIVEIRA et al., 2003), mas já se encontram cultivos na Flórida/EUA e em países das Américas Central e do Sul (BALERDI; RAFIE; CRANE, 2006). Os frutos contêm uma polpa suculenta de sabor doce e pouco adstringente, apropriados para o consumo *in natura*, produções artesanais e utilizações industriais diversas como na fabricação de sucos, sorvetes, licores, aguardente, geléias, vinhos, vinagre, compotas e outros (WU et al., 2013). Como o fruto é altamente perecível, decorridos dois dias do amadurecimento iniciam-se os processos de alterações em seu sabor e aparência, ocorrendo perdas intensas de água, deterioração e fermentação da polpa (LIMA et al., 2008). Devido a esses fatores o aproveitamento da jabuticaba, durante anos, foi realizado em um curto período pós-colheita. Essa situação ainda persiste, embora tecnologias como a liofilização no processamento do fruto e/ou da casca, na forma de pó, têm permitindo o consumo em qualquer época do ano (FARIA et al., 2016), ou na obtenção de extratos secos de cascas e sementes residuais como fonte alternativa de ingredientes na indústria de alimentos (BORGES et al., 2017; SOUZA; POLIANA; MARCZAK, 2017).

A comercialização ainda gera uma grande quantidade de frações desperdiçadas especialmente da casca e da semente e que juntas podem representar quase 50% do fruto (CROZIER; JAGANATH; CLIFFORD, 2009; MORALES et al., 2016).

Com respeito à composição química dos frutos foram isolados depsídeos e antocianinas (REYNERTSON et al., 2006; WU et al., 2013). Nos últimos cinco anos,

sete taninos hidrolisáveis (elagitaninos) foram detectados e tentativamente identificados com base em LC-TOF/MS (ALEZANDRO et al., 2013; PLAZA et al., 2016), embora não tenham apresentado consistência com outros estudos que utilizaram técnicas tradicionais de isolamento e identificação (PEREIRA et al., 2017; WU et al., 2012; WU et al., 2013). Em outro estudo, oito elagitaninos, incluindo a inédita cauliflorina (**1**), e seis polifenóis foram isolados e identificados (PEREIRA et al., 2017).

Estudos prévios indicaram que as alterações na composição química em polifenóis foram influenciadas mais pela parte do fruto do que pelo seu grau de maturidade. Os elagitaninos pedunculagina, castalagina e vescalagina, bem como os ácidos gálico e elágico concentraram-se principalmente nas sementes, enquanto cauliflorina e as antocianinas, cianidina-3-glicose e delphinidina-3-glicose, acumularam-se nas cascas (PEREIRA et al., 2017).

Esses resultados demonstram o potencial químico-biológico dessas partes dos frutos, ainda negligenciadas, e a importância de estudos adicionais acerca da variabilidade desses constituintes em diferentes condições de cultivo da espécie.

Neste trabalho, polifenóis e outros metabólitos, além dos constituintes da composição centesimal e parâmetros de coloração das cascas e sementes dos frutos de jabuticaba foram investigados quanto ao padrão de variabilidade química, por meio de métodos estatísticos uni e multivariados. Espera-se que um maior conhecimento acerca das influências ambientais na composição e variabilidade química dos metabólitos das cascas e sementes de jabuticaba possa permitir um maior aproveitamento dos rejeitos da agroindústria, como fonte potencial de compostos biologicamente importantes, seja como ingredientes funcionais em alimentos ou como nutracêuticos derivados de frutos, até o momento de pouco destaque na cadeia produtiva dessa fruta.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostragem e Análises Químicas

As amostras foram obtidas de frutos da safra de 2013 provenientes de cinco jabuticabeiras cultivadas em cada um dos cinco pomares da Fazenda Jabuticabal, Nova Fátima, Goiás. As cascas e sementes foram trituradas, liofilizadas e extraídas com EtOH:HCl (9:1) e MeOH:H₂O (1:1), respectivamente, em banho de ultrassom. Os extratos foram analisados quanto aos teores de fenóis totais, taninos, flavonoides e antocianinas totais, índice de cor e tonalidade. As análises quantitativas dos elagitaninos e ácidos fenólicos foram realizadas por meio de cromatografia líquida de alta eficiência com detecção de arranjo de diodos (PEREIRA et al., 2017).

Para a determinação da composição química centesimal as cascas e as sementes foram secas, trituradas e analisadas quanto aos parâmetros de umidade e teores de lipídeos, cinzas, proteínas, níveis de fibras alimentares (solúvel e insolúvel) e carboidratos, segundo as recomendações da Association of Official Analytical

Chemists (2006). Glicose, frutose, sacarose e ácido cítrico foram quantificados por RMN H^1 quantitativo (PEREIRA et al., 2017).

Para a análise dos macro e micronutrientes das amostras foi utilizada a espectrometria de absorção atômica (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}), espectrometria na região do visível (P) e espectrometria de emissão em chama (K^+). A análise dos nutrientes foi realizada no Laboratório de Análise de Solos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás-EA/UFG.

Amostras de solo de cinco pomares da Fazenda Jabuticabal foram secas e peneiradas (2 mm) separadamente e a porção mais fina (< 2 mm) foi submetida à análise físico-química. A textura do solo, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC) e o potencial de acidez ($H+Al^{3+}$) foram determinados pelos métodos habituais (SILVA, 1999). O pH foi determinado em solução de $CaCl_2$ -solo na razão 1:1. Os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos com KCl 1,0 mol L^{-1} , enquanto que P, K^+ , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} foram extraídos com solução Mehlich. As análises foram realizadas de forma similar ao dos nutrientes foliares no Laboratório de Análise de Solos da EA/UFG.

2.2 Análises Estatísticas

A comparação múltipla das médias foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA), seguido do teste de Tukey. Valores de $p < 0,05$ foram considerados significativos. As análises foram efetuadas no programa SAS (1996). Para a análise multivariada, os dados químicos foram organizados em duas matrizes: resposta e explicativa. A matriz de resposta (30 × 24) foi formada pelas 30 amostras (15 amostras por parte do fruto) nas linhas e os 24 teores químicos, como variáveis, nas colunas. A matriz explicativa (30 × 24) conteve as mesmas 30 amostras de cascas e sementes de frutos nas linhas e os nutrientes do solo (14 parâmetros) e das partes do fruto (oito parâmetros), em adição a uma variável categórica (semente ou casca), nas colunas.

As matrizes foram submetidas à análise de redundância (RDA), onde a matriz de dados explicativa condiciona o posicionamento das variáveis na matriz resposta (LEPŠ; ŠMILAUER, 2007). Testes de permutação de Monte Carlo irrestritos (999 permutações) foram utilizados para avaliar a significância dos autovalores obtidos pela RDA. Em todas as análises, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o fator de inflação da variância da variável (VIF) foram utilizados para guiar a seleção das variáveis explicativas, evitando-se a multicolinearidade nas regressões multivariadas (LEPŠ; ŠMILAUER, 2007).

O algoritmo de lógica nebulosa fuzzy *c*-means foi utilizado para detectar o agrupamento natural das amostras e suas relações intra e interclasses. O coeficiente de partição normalizado (coeficiente de Dunn) foi utilizado para medir o grau de partição do conjunto. A validação da técnica foi baseada na análise de discriminante (CDA), com os agrupamentos (classes) como a variável de resposta e os teores químicos como variáveis explicativas. A capacidade preditiva das funções discriminantes foi

avaliada pela técnica de reamostragem de Jackknife.

Antes da análise multivariada os dados foram pré-processados: a matriz resposta foi transformada para $\log(x+1)$ e centrada na média, enquanto a matriz explicativa foi autoescalada. As análises multivariadas foram conduzidas nos programas Canoco (2012) e R (R CORE TEAM, 2014).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Univariada das Sementes e das Cascas

A análise de variância dos dados obtidos utilizando a parte do fruto (casca e semente) e o solo de cultivo (S1-S5), como fatores na ANOVA, sugeriu uma distinção qualitativa e quantitativa dos metabólitos das cascas e das sementes da jabuticaba (Tabela 1).

Constituinte	Parte do Fruto	Solo de Cultivo				
		S1	S2	S3	S4	S5
Lipídeos ^b	Semente	0,47 ^{Ba}	0,47 ^{Ba}	0,45 ^{Bb}	0,45 ^{Bb}	0,46 ^{Bb}
	Casca	0,48 ^{Ac}	0,50^{Aa}	0,47 ^{Ad}	0,46 ^{Ad}	0,49 ^{Ab}
Proteínas ^c	Semente	0,50 ^{Ba}	0,48 ^{Bb}	0,49 ^{Bab}	0,49 ^{Bab}	0,49 ^{Bab}
	Casca	5,64 ^{Aab}	6,26^{Aa}	5,76 ^{Aab}	6,23^{Aa}	5,15 ^{Ab}
Carboidratos	Semente	11,99 ^{Bc}	14,72 ^{Ba}	13,36 ^{Bb}	13,52 ^{Bb}	12,88 ^{Bbc}
	Casca	55,81 ^{Ac}	53,03 ^{Ad}	58,69^{Aa}	57,23 ^{Ab}	57,82 ^{Aab}
Fibras solúveis	Semente	0,50 ^{Ba}	0,49 ^{Bc}	0,50 ^{Bb}	0,49 ^{Bb}	0,50 ^{Bb}
	Casca	5,45 ^{Ad}	5,49^{Aa}	5,48 ^{Ab}	5,47 ^{Ac}	5,47 ^{Ac}
Fibras insolúveis	Semente	22,89 ^{Bc}	22,94 ^{Ba}	22,89 ^{Bd}	22,90 ^{Bb}	22,85 ^{Be}
	Casca	23,12 ^{Ab}	23,06 ^{Ad}	23,11 ^{Ac}	23,03 ^{Ae}	23,20^{Aa}
Sacarose ^d	Semente	2,78^a	1,45 ^c	1,20 ^c	2,11 ^b	2,33 ^{ab}
	Casca	-	-	-	-	-
Cinzas ^c	Semente	0,98 ^{Bbc}	0,98 ^{Bd}	0,99 ^{Ba}	0,99 ^{Bab}	0,98 ^{Bcd}
	Casca	4,74 ^{Ac}	4,80 ^{Ab}	4,80^{Aa}	4,87^{Aa}	4,71 ^{Ac}
Glicose ^d	Semente	3,67 ^{Bbc}	4,09 ^{Bb}	4,13 ^{Bb}	3,33 ^{Bc}	5,74 ^{Ba}
	Casca	32,13 ^{Ab}	39,47^{Aa}	39,93^{Aa}	21,80 ^{Ac}	37,00 ^{Aa}
Frutose ^b	Semente	3,14 ^{Bbc}	3,72 ^{Bbc}	4,27 ^{Bb}	2,83 ^{Bc}	6,84 ^{Ba}
	Casca	38,00 ^{Ab}	45,37^{Aa}	48,23^{Aa}	24,07 ^{Ac}	43,97 ^{Aa}
Ácido cítrico ^c	Semente	1,49 ^{Bbc}	1,57 ^{Bab}	1,59 ^{Bab}	1,19 ^{Bd}	2,31 ^{Ba}
	Casca	23,42 ^{Aab}	28,65^{Aa}	26,37^{Aab}	8,89 ^{Ac}	21,24 ^{Abc}
Fenóis totais	Semente	0,76 ^{Bd}	0,91 ^{Bc}	0,67 ^{Be}	1,57 ^{Ba}	1,42 ^{Bb}
	Casca	2,63 ^{Ad}	2,84 ^{Ab}	2,42 ^{Ae}	2,73 ^{Ac}	2,98^{Aa}
Taninos totais	Semente	0,77 ^{Ad}	0,96 ^{Ac}	0,66 ^{Ae}	1,27^{Aa}	1,06 ^{Ab}
	Casca	0,53 ^{Bd}	0,66 ^{Bb}	0,43 ^{Be}	0,58 ^{Bc}	0,72 ^{Ba}

Flavonoides totais	Semente	4,43 ^d	4,84 ^c	4,02 ^e	6,44^a	5,67 ^b
	Casca	NA	NA	NA	NA	NA
Antocianinas totais	Semente	-	-	-	-	-
	Casca	0,43 ^c	0,51 ^b	0,39 ^d	0,43 ^c	0,56^a
Ácido elágico	Semente	0,06 ^{Ad}	0,08 ^{Ab}	0,10^{Aa}	0,08 ^{Ab}	0,07 ^{Ac}
	Casca	0,02 ^{Bb}	0,02 ^{Bb}	0,03 ^{Bb}	0,04 ^{Ba}	0,03 ^{Bb}
Ácido gálico	Semente	-	-	-	-	-
	Casca	0,01 ^b	0,01 ^b	0,01^a	0,01 ^b	0,01 ^b
Vescalagina	Semente	1,70 ^c	2,76 ^a	3,01^a	2,38 ^b	2,26 ^b
	Casca	0,01 ^b	-	0,01 ^{ab}	0,01 ^a	-
Castalagina	Semente	1,72 ^d	2,27 ^b	2,45^a	2,04 ^c	2,05 ^c
	Casca	-	-	-	0,04	-
Pedunculagina ^b	Semente	NA	NA	NA	NA	NA
	Casca	0,02 ^{bc}	0,03 ^b	0,02 ^{bc}	0,01 ^c	0,04^a
Delfinidina-3- glicose ^b	Semente	-	-	-	-	-
	Casca	0,06 ^c	0,14^a	0,06 ^{bc}	0,07 ^{bc}	0,09 ^b
Cianidina-3- glicose ^b	Semente	-	-	-	-	-
	Casca	0,27 ^b	0,53^a	0,32 ^b	0,34 ^b	0,37 ^b
Umidade ^c	Semente	24,74 ^{Ad}	27,97 ^{Ab}	31,01^{Aa}	27,14 ^{Ac}	14,52 ^{Be}
	Casca	18,35 ^{Bb}	20,48 ^{Ba}	15,63 ^{Bd}	15,24 ^{Bd}	16,88 ^{Ac}
Índice de cor ^c	Semente	-	-	-	-	-
	Casca	0,81 ^d	0,95 ^b	0,63 ^e	0,91 ^c	1,20^a
Tonalidade	Semente	-	-	-	-	-
	Casca	0,93 ^b	0,55 ^d	1,07^a	0,75 ^c	0,33 ^e

Tabela 1. Teores^a químicos das cascas e sementes de jabuticabas de acordo com o solo de cultivo dos frutos na Fazenda Jabuticabal, Novo Fátima, Goiás

^aBaseado nos valores originais em triplicata (g/100 g massa seca). ^bTransformado pela raiz quadrada, ^cordem dos mesmos (rank) ou ^dlogaritmo na ANOVA. NA = não analisado. – = não detectado. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e letras maiúsculas nas colunas não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As cascas apresentaram teores mais elevados do que nas sementes principalmente nas variáveis do metabolismo primário (lipídeos, proteínas, carboidratos, fibras, cinzas, glicose, frutose e ácido cítrico) além dos fenóis totais. Algumas variáveis, associadas ao metabolismo especial, ocorreram unicamente nesta parte do fruto, como as antocianinas, incluindo cianidina e delfinidina-3-glicose, além dos índices de cor e tonalidade. Neste estudo o ácido gálico e a pedunculagina foram detectados apenas nas cascas, apesar de também ocorrem nas sementes (PEREIRA et al., 2017).

As sementes, por sua vez, se destacaram pelos teores mais elevados de umidade e metabólitos especiais como os taninos, ácido elágico e vescalagina, enquanto castalagina praticamente só ocorreu nesta parte do fruto. Resultados

anteriores mostraram a preponderância de taninos e ácidos fenólicos nas sementes da jabuticaba (PEREIRA et al., 2017). Os teores de flavonoides totais foram quantificados somente nas sementes e sacarose só foi detectada nesta parte do fruto. As variáveis com ocorrências tanto nas cascas quanto nas sementes apresentaram diferenças significativas na interação entre os dois fatores, na ANOVA. Assim, em relação às cascas, os teores mais elevados de proteínas foram provenientes dos solos arenoso S2 e argiloso-arenoso S4 (6,26 e 6,23 g/100 g, respectivamente); lipídeos (0,50 g/100 g) e fibras solúveis (5,49 g/100 g) preponderaram no solo S2; glicose (39,47 e 39,93 g/100 g), frutose (45,37 e 48,23 g/100 g) e ácido cítrico (28,65 e 26,37 g/100 g) apresentaram teores elevados nos solos S2 e S3 (arenoso-argiloso); carboidratos (58,69 g/100 g) ocorreram principalmente no solo S3. Maiores teores de cinzas (4,80 e 4,87 g/100 g) concentraram-se em cascas dos solos S3 e S4, enquanto que as fibras insolúveis (23,20 g/100 g) e fenóis totais (2,98 g/100 g) preponderaram nas cascas dos frutos provenientes do solo S5, arenoso-argiloso pobre em matéria orgânica e com mais baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Entre as variáveis com ocorrência restrita às cascas, destacam-se a cianidina-3-glicose (0,14 g/100 g), preponderante no solo S2; ácido gálico (0,01 g/100 g) e tonalidade (1,07 g/100 g) no solo S3, enquanto que antocianinas totais (0,56 g/100 g), pedunculagina (0,04 g/100 g), índice de cor (1,20 g/100 g) e delfinidina-3-glicose (0,04 g/100 g) foram principalmente encontradas nas cascas provenientes do solo S5.

Em relação às sementes, os teores de vescalagina (3,01 g/100 g), castalagina (2,45 g/100 g), ácido elágico (1,10 g/100 g) e umidade (31,01 g/100 g) foram predominantes em frutos cultivados no solo S3, enquanto que fenóis totais (1,57 g/100 g), taninos (1,27 g/100 g) e flavonoides (6,44 g/100 g) preponderaram naqueles originados do solo S4. Sacarose foi observada apenas nessa parte do fruto e principalmente nas sementes provenientes do solo arenoso/argiloso S1 (2,78 g/100 g).

De forma geral, os solos S2 e S3 com altos teores de areia, Fe^{3+} e Mn^{2+} , mas com baixo K^+ , apresentaram teores elevados em metabólitos primários nas cascas e elagitatinos nas sementes (Tabela 2).

Constituinte	Solo de Cultivo				
	S1	S2	S3	S4	S5
Argila (g/dm ³)	390	290	350	460	410
Silte (g/dm ³)	190	150	190	160	170
Areia (g/dm ³)	420	560	460	380	420
Matéria orgânica (g/dm ³)	9,0	7,0	15,0	16,0	7,0
pH	4,0	4,2	4,7	4,2	4,0
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	0,6	0,7	2,7	0,8	0,2
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	0,3	0,3	0,5	0,2	0,1
K⁺ (cmol _c /dm ³)	0,09	0,07	0,07	0,09	0,09
K⁺ (mg/dm ³)	36,0	29,0	29,0	34,0	36,0

P (mg/dm ³)	1,4	2,9	6,2	0,8	2,6
Cu ²⁺ (mg/dm ³)	1,3	1,1	2,2	1,3	1,9
Fe³⁺ (mg/dm ³)	111,3	235,7	195,0	67,3	71,2
Mn²⁺ (mg/dm ³)	20,2	27,2	46,8	3,8	27,0
Zn ²⁺ (mg/dm ³)	0,4	1,1	1,6	1,3	0,3
Al³⁺ (cmol _c /dm ³)	0,7	0,3	0	0,4	0,3
H+Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	6,6	8,1	4,8	7,3	3,9
CTC (cmol _c /dm ³)	7,6	9,2	8,1	8,4	4,3

Tabela 2. Características físico-químicas dos solos de cultivo dos frutos de *M. cauliflora*.

Por outro lado, os solos argilosos S4 e S5, com mais baixos níveis de Mg²⁺ e Fe³⁺, mais rico em K⁺, conduziram a teores mais elevados em compostos fenólicos totais, relacionados às funções adaptativas frente a situações de estresses bióticos ou abióticos. O solo S1, pouco fértil e com alto teor de Al³⁺, apresentou apenas a sacarose, exclusivamente nas sementes, como variável de destaque. Quanto aos nutrientes minerais presentes nos tecidos das amostras, K⁺, Mg²⁺, Cu²⁺ e Mn²⁺ variaram de acordo com a parte do fruto e do solo de origem (Tabela 3).

Mineral	Parte do Fruto	Solo				
		S1	S2	S3	S4	S5
Ca ²⁺ , b	Semente	0,11 ^{Ab}	0,11 ^{Aa}	0,11 ^{Ab}	0,10 ^{Ab}	0,10 ^{Ab}
	Casca	0,12 ^{Ab}	0,13 ^{Aa}	0,12 ^{Ab}	0,10 ^{Ab}	0,11 ^{Ab}
K ⁺ , b	Semente	0,64 ^{Bab}	0,67 ^{Bab}	0,43 ^{Bb}	0,51 ^{Bab}	0,71 ^{Aa}
	Casca	1,41^{Aa}	1,21^{Aa}	1,26^{Aa}	0,70 ^{Ab}	0,85 ^{Ab}
Mg ²⁺ , b	Semente	0,10^{Aa}	0,10^{Aa}	0,10^{Aa}	0,10^{Aa}	0,10^{Aa}
	Casca	0,06 ^{Bab}	0,07 ^{Ba}	0,07 ^{Ba}	0,05 ^{Bb}	0,05 ^{Bb}
P ^b	Semente	2,57 ^{Aab}	2,75 ^{Aa}	2,07 ^{Aab}	1,86 ^{Ab}	1,91 ^{Aab}
	Casca	1,70 ^{Bab}	1,94 ^{Ba}	1,74 ^{Bab}	1,43 ^{Bb}	1,86 ^{Bab}
Cu ²⁺ , c	Semente	7,00 ^{Ab}	10,00^{Aa}	10,00^{Aa}	7,00 ^{Ab}	8,00 ^{Ab}
	Casca	2,33 ^{Bc}	4,00 ^{Bb}	4,33 ^{Bab}	5,67 ^{Ba}	5,00 ^{Bab}
Fe ³⁺ , c	Semente	51,33 ^{Bbc}	61,00 ^{Ba}	60,33 ^{Ba}	54,67 ^{Bab}	53,33 ^{Bc}
	Casca	55,67 ^{Abc}	61,67 ^{Aa}	60,67 ^{Aa}	62,67 ^{Aab}	52,67 ^{Ac}
Mn ²⁺ , c	Semente	17,33 ^{Bc}	25,00 ^{Bb}	22,00 ^{Bb}	30,67 ^{Ba}	8,00 ^{Bd}
	Casca	49,00 ^{Ab}	57,33^{Aa}	45,00 ^{Ab}	55,00^{Aa}	55,33^{Aa}
Zn ²⁺ , c	Semente	15,60 ^{Ab}	16,90 ^{Aa}	17,80 ^{Aab}	13,77 ^{Ab}	16,10 ^{Ab}
	Casca	16,00 ^{Ab}	20,77 ^{Aa}	17,17 ^{Aab}	15,53 ^{Ab}	15,03 ^{Ab}

Tabela 3. Teores^a dos minerais das sementes e cascas dos frutos de *M. cauliflora*

^aBaseado nos valores originais em triplicata. ^b(g/kg massa seca). ^c(mg/kg massa seca). Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Potássio e Mn^{2+} destacaram-se nas cascas, principalmente dos frutos cultivados nos solos S1/S2/S3 e S4/S5, respectivamente, enquanto que os teores de Cu^{2+} e Mg^{2+} foram maiores nas sementes, com o Cu^{2+} ocorrendo principalmente nos solos S2 e S3. Não se observou qualquer influência do solo de cultivo para os teores de Mg^{2+} nas sementes. Fósforo e Fe^{3+} destacaram-se nas sementes e cascas, respectivamente, com ambos os nutrientes com os maiores teores no solo S2. Por sua vez, Ca^{2+} e Zn^{2+} não apresentaram diferenças significativas entre as partes do fruto, embora tenham ocorrido principalmente nos solos S4 e S2, respectivamente.

3.2 Análise Multivariada das Sementes

O padrão multivariado dos metabólitos das sementes por meio da RDA resultou em correlações significativas entre as duas matrizes para os dois primeiros eixos canônicos ($R_1 = 0,953$ e $R_2 = 0,974$). Os parâmetros baixos de VIF $< 4,23$ e a alta variância explicada ($R^2 = 79,6\%$; $R^2_{aj} = 74,0\%$; $F = 14,3$; $p = 0,001$), indicaram ausência de multicolinearidade nas regressões multivariadas (LEPŠ; ŠMILAUER, 2007).

A RDA1 (Figura 1), responsável por 46,7% da variação explicada ($F = 9,7$; $p = 0,002$), separou as sementes com baixos teores de Mn^{2+} e umidade, provenientes dos frutos do solo S5, principalmente devido ao acúmulo de açúcares monoméricos (glicose e frutose) e ácido cítrico.

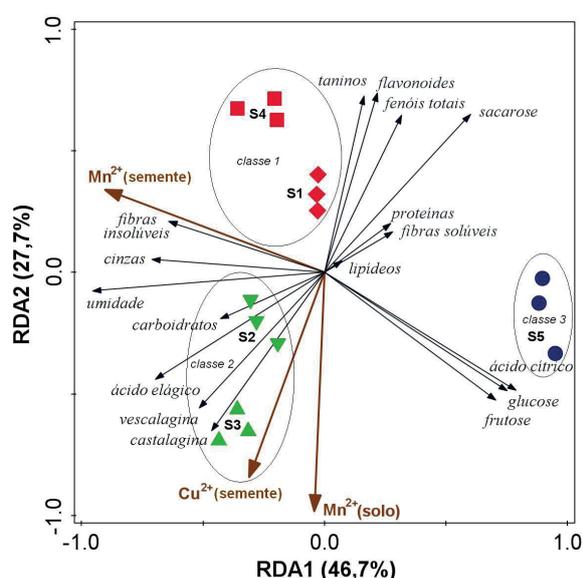


Figura 1. Plano da RDA dos metabólitos (setas azuis) das sementes de *M. cauliflora* explicados pelos seus nutrientes minerais (Cu^{2+} e Mn^{2+}) e do solo (Mn^{2+}), representados por setas marrons. As amostras foram obtidas de frutos cultivados no solo S1-S5.

Os maiores valores da RDA2 (27,7%; $F = 11,9$; $p = 0,001$) correlacionaram-se às sementes dos solos pobres em Mn^{2+} (S1 e S4) e acumularam majoritariamente polifenóis (fenóis, flavonoides e taninos totais) e sacarose. Valores negativos da RDA2 correlacionaram-se a teores elevados de alguns nutrientes minerais das sementes (Cu^{2+}) e do solo (Mn^{2+}), importantes na caracterização das amostras que se apresentaram ricas em ácido elágico e elagitaninos (vescalagina e castalagina),

procedentes dos solos S2 e S3.

Vários estudos demonstraram a participação de Cu^{2+} e Mn^{2+} na rota do ácido chiquímico que conduz a flavonóides, taninos, e lignina (DIAZ et al., 2001; GUANGQIU; CHONGLING; HAOLIANG, 2007). Em plantas, com deficiência de Cu^{2+} e Mn^{2+} , a lignificação é prejudicada e os compostos fenólicos se acumulam nos tecidos (LIN; CHEN; LIU, 2005). Isto se deve em parte à queda na atividade da fenolase e lacase, dependentes e Cu^{2+} , enzimas-chave na lignificação. O efeito do Cu^{2+} na biossíntese de taninos foliares tem sido descrita em *Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco (Myrsinaceae) (GUANGQIU; CHONGLING; HAOLIANG, 2007). Inicialmente, a quantidade de tanino diminui com a oferta de cobre. Porém, quando ele atinge níveis tóxicos, o teor de tanino aumenta. Esses resultados mostraram que a biossíntese de polifenóis é dependente dos níveis de Cu^{2+} e Mn^{2+} : a lignificação é inibida em tecidos deficientes e a produção de outros fenólicos é aumentada, o que provavelmente ocorre em sementes do solo S1 e S4. Quando Cu^{2+} e Mn^{2+} atingem níveis suficientes, a biossíntese de lignina é aumentada, provavelmente usando outros derivados fenólicos como intermediários.

A análise por fuzzy c-means confirmou a tendência de agrupamento das amostras de acordo com a RDA. O valor próximo da unidade do coeficiente de partição normalizado de Dunn (0,96) indicou que o agrupamento das amostras não se apresenta difuso, pelo contrário, aproxima-se de uma partição próxima de um conjunto rígido e, conseqüentemente, com nítida alocação das amostras, sem sobreposição. Para a validação desses resultados utilizou-se a análise de discriminante (CDA), com as três classes (agrupamentos) como variáveis de resposta e os teores de vescalagina, flavonoides e glicose como variáveis preditoras (Tabela 4).

Os resultados indicaram uma excelente classificação das amostras cujos valores baixos dos lambdas de Wilks ($\Lambda_1 = 0,007$; $\Lambda_2 = 0,109$) indicaram a medida multivariada da grande diferença entre as três classes, com uma forte correlação entre os conjuntos de variáveis ($R_1 = 0,969$; $R_2 = 0,944$). A primeira função discriminante (CDA1) acumulou 65,3% da variabilidade total e separou ($F = 37,5$; $GL = 6$ e 20 ; $p = 0,001$) a classe 3, contendo as sementes de frutos dos solos S5, principalmente pelo escore positivo (1,08) da glicose.

Função canônica	Autovalor	Porcentual relativo	Correlação canônica	Lambda de Wilks	F	GL ^a	P
CD1	15,350	65,3	0,969	0,007	37,5	6; 20	0,001
CD2	8,166	34,7	0,944	0,109	44,9	2; 11	0,001

Coeficientes	Flavonoide	Vescalagina	Glicose
CD1	0,87	-0,42	1,08
CD2	-0,98	1,27	0,27

Escores	Classe 1	Classe 2	Classe 3
---------	----------	----------	----------

CD1	-1,75	-1,76	7,01
CD2	-2,86	2,86	0,01
Validação	Classe 1	Classe 2	Classe 3
	100%	100%	100%
			Total
			100%

Tabela 4. Sumário da análise de discriminante para as amostras de sementes de *M. cauliflora*

^aGraus de liberdade. Número de amostras = 15; Classes: 1 (n = 6); 2 (n = 6); 3 (n = 3).

A CDA2, por sua vez, discriminou (37,5%; $F = 44,9$; $GL = 2$ e 11 ; $p = 0,001$) a classe 2, formada por sementes oriundas de frutos dos solos S2 e S3, devido ao escore positivo (1,27) para vescalagina. Valores negativos de CDA2 correlacionaram-se ao aumento do teor de flavonoides (-0,98), especialmente na classe 1, de sementes dos solos S1 e S4. Todas as amostras foram classificadas corretamente pelas técnicas de reamostragem por Jackknife e validação cruzada.

A importância dos fatores ambientais, associados aos nutrientes minerais, na produção de constituintes químicos pelas sementes sugere que os fabricantes de produtos derivados destes frutos devem concentrar seus esforços em variáveis edáficas dos locais de amostragem.

3.3 Análise Multivariada das Cascas

A modelagem da RDA para as amostras de cascas (Figura 2) resultou em correlações significativas para os dois primeiros eixos canônicos ($R_1 = 0,889$ e $R_2 = 0,876$); $VIF < 2,0$ e variância explicada alta ($R^2 = 71,9\%$; $R^2_{aj} = 64,2\%$; $F = 17,4$; $p = 0,002$), sugerindo forte associação entre as matrizes dos metabólitos e a dos nutrientes minerais das cascas e do solo de cultivo dos frutos.

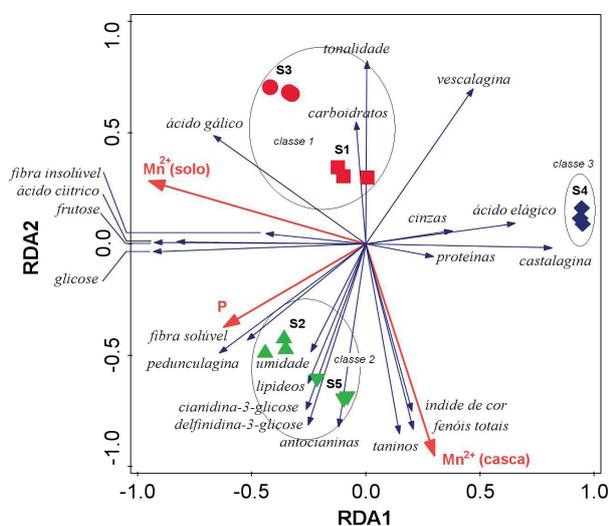


Figura 2. Diagrama da RDA dos 22 metabólitos (setas azuis) das cascas de *M. cauliflora*, cultivados nos solos S1-S5, explicados pelos seus nutrientes minerais (P e Mn^{2+}) e do solo (Mn^{2+}), representados por setas vermelhas.

A RDA1 foi responsável por 61,2% da variação explicada ($F = 17,4$; $p = 0,002$) e separou as cascas com teores baixos de P e Mn^{2+} , provenientes de frutos do solo arenoso/argiloso do tipo cascalho, com pouco nutriente e pobre em Mn^{2+} (S4), principalmente devido ao acúmulo ácido elágico e castalagina. Quanto a RDA2 (10,3%; $F = 4,0$; $p = 0,048$), os maiores valores correlacionaram-se às cascas de frutos com maior tonalidade, provenientes dos solos ricos em Mn^{2+} (S1 e S3) e que acumularam majoritariamente vescalagina, carboidratos e ácido gálico. Por outro lado, valores negativos da RDA2 correlacionaram-se aos maiores teores de Mn^{2+} e P nas cascas ricas em taninos, fenóis e antocianinas totais, incluindo cianidina-3-glicose e delphinidina-3-glicose, além do índice de cor, cujos frutos foram cultivados nos solos S2 e S5. O fósforo é um elemento essencial para o crescimento, sendo componente de compostos fosfatados que encerram energia (ATP e ADP), ácidos nucleicos, coenzimas e fosfolipídeos, e participando de várias etapas de rotas biossintéticas de metabólitos especiais (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001). Esse elemento também influenciou o nível de antocianinas em cultivares de morangos. Em estudos onde foram utilizados tratamentos com adubação fosfatada em campo foi observado um aumento nas concentrações de ácido ascórbico e de antocianinas totais. A aplicação foliar de fosfito pode ativar o mecanismo de defesa das plantas, pois o conteúdo de ácido ascórbico e de antocianinas das frutas aumentam (GÓMEZ-MERINO; TREJO-TÉLLEZ, 2015).

Assim, enquanto a RDA1 descreve a influência de fatores nutricionais do solo, a RDA2 contribui para os nutrientes minerais das amostras.

A análise por fuzzy *c*-means confirmou a tendência de agrupamento das amostras, o qual apresentou um alto coeficiente normalizado de Dunn (0,91) indicando a ausência de sobreposição interclasses. A validação dos resultados, conduzida pela CDA, utilizou os teores de ácido elágico e pedunculagina como variáveis preditoras (Tabela 5).

Função canônica	Autovalor	Porcentual relativo	Correlação canônica	Lambda de Wilks	F	GL ^a	P
CD1	37,058	99,8	0,981	0,024	29,88	4; 22	0,001
CD2	0,087	0,2	0,288	0,920	1,04	1; 12	0,327

Coefficientes	Pedunculagina	Ácido elágico
CD1	0,78	-1,11
CD2	0,84	0,28

Escores	Classe 1	Classe 2	Classe 3
CD1	1,01	4,24	-10,50
CD2	0,32	-0,25	-0,14

Validação	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Total
	100%	100%	100%	100%

Tabela 5. Sumário da análise de discriminante das cascas dos frutos de *M. cauliflora*

^aGraus de liberdade. Número de amostras = 15; Classes: 1 (n = 6); 2 (n = 6); 3 (n = 3).

Os resultados indicaram uma excelente classificação com o valor baixo do lambda de Wilks ($\Lambda_1 = 0,034$) indicando o grande poder de discriminação das amostras utilizando apenas as duas variáveis explicativas. O modelo apresentou uma forte correlação ($R_1 = 0,981$) na primeira função discriminante (CDA1), responsável pela maioria da variabilidade (99,7%; $F = 29,88$; GL = 4 e 22; $p = 0,001$), e que separou as três classes pelos escores negativo (-1,11) e positivo (0,78) para a pedunculagina e ácido elágico, respectivamente, sem qualquer amostra mal classificada.

Dessa forma, os metabólitos das cascas também podem ser modelados pelo conteúdo nutricional dos solos e o regime de adubação é determinante para explicar a variabilidade química nas cascas dos frutos de *M. cauliflora*.

4 | CONCLUSÃO

A jabuticabeira é uma das frutíferas cujos estudos devem ser intensificados pelo potencial de utilização e qualidade de subprodutos até o momento sem destaque em sua cadeia produtiva, como as cascas e sementes.

Os resultados indicaram que os metabólitos são mais adequadamente explicados quando analisados separadamente, por parte do fruto, o que reflete diferenças marcantes na qualidade e teor de alguns metabólitos nas sementes e cascas. O Mn^{2+} se destacou entre os nutrientes minerais tanto do solo de cultivo quanto das partes do fruto, enquanto o Cu^{2+} e o fósforo tiveram destaques diferenciados na explicação dos metabólitos das sementes e cascas, respectivamente. Em ambos os casos, as amostras conduziram a três agrupamentos de acordo com os metabólitos, porém com diferenças entre o solo de cultivo dos frutos.

Teores mais elevados de vescalagina, ácido gálico e carboidratos totais nas cascas ocorreram em solos com maior concentração de nutrientes como matéria orgânica, P, Mn^{2+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} , enquanto que solos mais arenosos e com baixos níveis de nutrientes apresentaram altos teores de taninos, antocianinas e fenóis totais, além de pedunculagina. Por outro lado, as sementes provenientes de solos com maior pH e níveis mais elevados de P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} apresentaram os maiores teores em ácido elágico, vescalagina, castalagina e carboidratos totais, enquanto aquelas com altos teores de taninos, flavonoides e fenóis totais originaram-se principalmente de solos argilosos com características nutricionais intermediárias.

Esses resultados são relevantes, pois as qualidades dos vinhos de jabuticaba estão principalmente associadas à composição química da polpa e da casca dos frutos, enquanto que as propriedades associadas às sementes são de importância como matéria-prima para a indústria farmacêutica ou alimentícia, como fonte potencial de ingredientes funcionais. Dessa forma, o manejo do solo e o conteúdo nutricional dos frutos destacam-se como importantes parâmetros para a melhoria da qualidade desses subprodutos para a cadeia produtiva da jabuticaba.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao PADCT pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALEZANDRO, M. R. et al., Comparative study of chemical and phenolic compositions of two species of jaboticaba: *Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg and *Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg. **Food Research International**, Oxford, v. 54, n. 1, p. 468-477, nov. 2013.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOAC. **Official methods of analysis**. 18th ed. Washington: Association of Official Agriculture Chemists, 2006.
- BALERDI, C. F.; RAFIE, R.; CRANE, J. Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg.): a delicious fruit with an excellent market potential. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Gainesville, v. 119, p. 66-68, abr. 2006.
- BORGES, L. L. et al., Optimization of the spray-drying process for developing jaboticaba waste powder employing response. **Journal of Food Process Engineering**, Nova Jersey, v. 40, n. 1, e12276, fev. 2017.
- CANONICAL COMMUNITY ORDINATION-CANOCO. Version 5.0: Biometrics, The Netherlands, 2012.
- CROZIER, A.; JAGANATH, I. B.; CLIFFORD, M. N. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. **Natural Product Reports**, London, v. 26, n. 8, p. 1001-146, ago. 2009.
- DIAZ, J. et al., Induction of shikimate dehydrogenase and peroxidase in pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings in response to copper stress and its relation to lignification. **Plant Science**, v. 161, n. 1, p. 179-188, jun. 2001.
- FARIA, G. S. et al., Caracterização química da casca de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) liofilizada e sua aplicação em leite fermentado potencialmente simbiótico. **Jornal de Ciências Biomédicas e Saúde**, v. 2, n. 1, p. 2-9, jun. 2016.
- GÓMEZ-MERINO, F. C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 82-90, nov. 2015.
- GUANGQIU, Q.; CHONGLING, Y.; HAOLIANG, L. Influence of heavy metals on the carbohydrate and phenolics in mangrove, *Aegiceras corniculatum* L., seedlings. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 78, n. 6, p. 440-444, jun. 2007.
- LEPŠ, J.; ŠMILAUER, P. **Multivariate analysis of ecological data using Canoco**. Cambridge: Cambridge University Press, UK, 2007.
- LIMA, A. J. B. et al., Caracterização química dos frutos de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg.) e de suas frações. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 58, n. 4, p. 416-421, out. 2008.
- LIN, C. C.; CHEN, L. M.; LIU, Z. H. Rapid effect of copper on lignin biosynthesis in soybean roots. **Plant Science**, v. 168, n. 3, p. 855-861, mar. 2005.
- MORALES, P. et al., Non-fermented and fermented jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Mart.) pomaces as valuable sources of functional ingredients. **Food Chemistry**, v. 208, p. 220-227, out. 2016.
- OLIVEIRA, A. L. et al., Caracterização tecnológica de jaboticabas "Sabará" provenientes de diferentes regiões de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 397-400, dez. 2003.

- PEREIRA, L. C. et al., Polyphenol and ellagitannin constituents of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) and chemical variability at different stages of fruit development. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 65, n. 5, p. 1209-1219, fev. 2017.
- PLAZA, M. et al., Characterization of antioxidant polyphenols from *Myrciaria jaboticaba* peel and their effects on glucose metabolism and antioxidant status: a pilot clinical study. **Food Chemistry**, v. 211, p. 185-197, nov. 2016.
- R CORE TEAM, R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 8 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2014.
- REYNERTSON, K. A. et al., Bioactive depsides and anthocyanins from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*). **Journal of Natural Products**, Washington, v. 69, n. 8, p. 1228-1230, ago. 2006.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS-SAS. Version 6.12: SAS Institute Inc., Cary, USA, 1996.
- SIVA, F. C., **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 1 ed. Brasília: Embrapa, 1999.
- SOUZA, A. C. P.; POLIANA, D. G.; MARCZAK, L. D. F. Maltodextrin, pectin and soy protein isolate as carrier agents in the encapsulation of anthocyanins-rich extract from jaboticaba pomace. **Food and Bioproducts Processing**, London, v. 102, p. 186-194, mar. 2017.
- WU, S. B. et al., Metabolite profiling of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) and other dark-colored fruit juices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 60, n. 30, p. 7513-7525, jul. 2012.
- WU, S. B.; LONG, C.; KENNELLY, E. J. Phytochemistry and health benefits of jaboticaba, an emerging fruit crop from Brazil. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 148-159, 2013.
- WU, S. B. et al., Bioactive and marker compounds from two edible dark-colored *Myrciaria* fruits and the synthesis of jaboticabin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 61, n. 17, p. 4035-4043, abr. 2013.

RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO SOBRE EFEITO DE INOCULAÇÃO EM DIFERENTES DOSAGENS DE NITROGÊNIO

Leandro dos Santos Barbosa

Facc - Faculdade Concórdia, Concórdia, Santa Catarina.

Fernando Zuchello

Facc - Faculdade Concórdia, Concórdia, Santa Catarina.

Paula Fernanda Chaves Soares

UNIG - Universidade Iguazu, Nova Iguazu, Rio de Janeiro

RESUMO: Estudos realizados com a inoculação de *Azospirillum brasilense* nas culturas de interesse econômico do grupo das gramíneas têm demonstrado grandes benefícios ao crescimento e desenvolvimento das plantas, pela produção de alguns hormônios dos vegetais e da fixação biológica de nitrogênio que trazem efeitos positivos ao meio ambiente, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada. Contudo, estirpes eficientes e genótipos promissores, devem ser associados para que se obtenham benefícios com essa associação. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a resposta de um híbrido de milho à associação com *A. brasilense* e adubação nitrogenada. O delineamento experimental empregado foi em esquema fatorial 1x2x5 com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos no híbrido de milho P-4285YHR; inoculação ou não de produto comercial a

base de *A. brasilense*, e cinco doses de N (0, 72, 117, 162 e 207 kg ha⁻¹). Foram avaliados os parâmetros: Altura de planta, comprimento e diâmetro de espiga, peso total de grãos por parcela, verificação da produtividade e análise a viabilidade. Houve interação entre inoculação e adubação nitrogenada no estágio vegetativo da cultura e adubação nitrogenada para a produtividade. O híbrido respondeu as variáveis analisadas e a aplicação de doses crescentes de N proporcionou incrementos para variáveis de produtividade. Houve influência da inoculação com *A. brasilense* na cultura, que apresentaram incremento em presença da inoculação.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L., inoculação, bactérias diazotróficas, doses de nitrogênio.

ABSTRACT: Studies carried out with the inoculation of *Azospirillum brasilense* on crops of economic interest of the grasses group have shown great benefits to the growth and development of the plants, by the production of some plant hormones and biological nitrogen fixation that bring positive effects to the environment, reducing the need for nitrogen fertilization. However, efficient strains and promising genotypes should be associated in order to obtain benefits from this association. The objective of evaluating the response of a corn hybrid to the association with *A. brasilense* and nitrogen fertilization. The experimental

design used in a 1x2x5 factorial scheme with four replications. The treatments were constituted in maize hybrid P-4285YHR; inoculation or not of commercial product based on *A. brasilense*, and five doses of N (0, 72, 117, 162 and 207 kg ha⁻¹). The following parameters evaluated: plant height, spike length and diameter, total grain weight per plot, productivity check and viability analysis. There was interaction between inoculation and nitrogen fertilization at the vegetative stage of the crop and nitrogen fertilization for yield. The hybrid responded to the analyzed variables and the application of increasing doses of N provided increases for productivity variables. There was influence of the inoculation with *A. brasilense* in the culture, which presented increase in presence of the inoculation.

KEYWORDS: *Zea mays* L., inoculation, diazotrophic bacteria, nitrogen doses.

1 | INTRODUÇÃO

Mediante o crescimento populacional exponencial das últimas décadas (FAO, 2017) a preocupação com segurança alimentar e nutricional aliada a sustentabilidade tem ganhado foco. Cada vez mais, se faz necessário o aumento de produtividade para atender a população sem degradar o meio ambiente. Neste cenário, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) pelas bactérias diazotróficas rizosféricas é uma das tecnologias que está sendo utilizadas para redução de insumos agrícolas, com acréscimo de produtividade e com um ganho muito importante para o meio ambiente pela minimização da emissão de gases de efeito estufa (MAPA, 2014).

O milho (*Zea Mays*) é um cereal largamente utilizado para alimentação humana e animal, possuindo excepcionais qualidades nutricionais: fonte de vitaminas, carboidratos, aminoácidos e sais minerais e estando presente na manutenção da dieta humana (MENKIR et al., 2008). Servindo de para alimentação humana *in-natura* ou como matéria prima para subprodutos como doces, cremes, sucos, saladas, sorvetes, etc (BERGEROT, 2013), e para a alimentação animal serve de matéria prima para rações balanceadas, sendo um dos principais ingredientes com função de fornecer energia ao animal (ZARDO & LIMA, 1999).

Toda via, a cultura do milho é muito exigente em nutriente, sendo o nitrogênio o elemento mineral mais importante e que limita sua produtividade (GIRACCA et al, 2015). Para suprir a demanda da cultura são realizadas adubações nitrogenadas com elevadas doses de N, porém, os fertilizantes nitrogenados elevam o custo de produção, e somado a essa questão, o fertilizante nitrogenado mais utilizado (ureia) é derivado de petróleo, por tanto, um recurso energético não renovável com grande impacto ao meio ambiente (DOTTO et al, 2010).

Assim a FBN surge como alternativa para viabilizar uma produção com menores custos, além de minimizar o impacto ambiental causado pela emissão de N₂O. Dessa forma, a utilização do potencial genético das plantas, aliado aos recursos biológicos do solo, como as bactérias fixadoras de nitrogênio apresenta grande potencial para suprir

a demanda da cultura fixando nitrogênio (N₂), sendo um desafio para uma agricultura sustentável (GRAHAM & VANCE, 2000)

A FBN é largamente utilizada em leguminosas, já em gramíneas é mais recente, existindo divergências de autores quanto sua eficiência. Godoy et al., (2011) utilizaram como inoculante cepas de *Azospirillum brasilense* e não encontraram respostas positivas da inoculação sobre a produtividade do milho. Por outro lado, Hungria et al., (2010) avaliaram o uso de *Azospirillum brasilense* sobre o milho e encontraram um aumento em 30% na produtividade em relação ao controle sem inoculação, enquanto Xu et al, (2018) testando diferentes estirpes afirma que o houve crescimento das plantas aumentando em pelo menos um parâmetro ou na concentração de nutrientes das plantas de milho.

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a resposta do milho sobre efeito de inoculação com *Azospirillum brasilense* em diferentes dosagens de nitrogênio fornecendo informações para os agricultores.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido a campo no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Catarinense - Câmpus Concórdia localizado na Rodovia SC 283 - Km 08 - Bairro Fragosos - Concórdia - Santa Catarina está em uma longitude de 52° 5'0,08"O, latitude 27° 12'10,36" S e altitude média de 639 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen e Geiger é subtropical úmido (Cfa), com temperatura média de 18.4 °C e pluviosidade média anual de 1878 mm.

O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 1 x 2 x 5, com quatro blocos. O primeiro fator refere-se aos híbridos simples de milho, P-4285YHR, com ciclo produtivo precoce; o segundo fator é relativo à inoculação ou não de produto comercial a base de *Azospirillum brasilense* (líquido); e o terceiro fator refere-se às diferentes doses de N em adubação de cobertura. Cada parcela experimental contou com 6 linhas de plantio com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 5 metros de comprimento totalizando 12,5 m² por parcela, considerando parcela útil as 4 linhas centrais e desconsiderando 1 metro das laterais como bordadura e os corredores de 1 m de largura entre parcelas e 1 m de largura entre blocos totalizando área total do experimento de 775,5 m².

Para inoculação das sementes foi utilizado um produto comercial líquido (Nitro1000®) com composição de *Azospirillum brasilense*, estirpes AbV5 e AbV6, vitaminas, sais minerais, fonte de carbono, água, espessante, conservante e estabilizante PVP (aquoso) com concentração de 2,0 x 10⁸ células viáveis por mL. A inoculação foi realizada adicionando-se o inoculante, na proporção de 100 mL do produto para 60.000 sementes, com auxílio de pipetas, diretamente sobre as sementes, em sacos plásticos. Posteriormente agitado por aproximadamente 2 minutos para

uniformizar a distribuição do produto nas sementes. A massa de sementes foi mantida à sombra por 10 minutos e logo em seguida feita a semeadura.

A adubação de base foi realizada no dia 16 de outubro de acordo com as análises de solo e recomendações conforme descritas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFS-RS/SC (2004). Foram adicionados no sulco de semeadura 27 kg ha⁻¹ de N, 99 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 36 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se como fonte o adubo de formulação 09- 33-12, e aplicação realizada com semeadora adubadora de arrasto e trator.

A semeadura foi realizada em 20 de outubro utilizando-se o sistema de semeadura direta feita com semeadora manual deixando-se 7 sementes por metro linear. Após 15 dia da emergência (DAE), foi realizado o desbaste mantendo uma população 3,5 plantas por metro linear, num total de 70.000 plantas ha⁻¹.

A adubação de cobertura, foi realizada em duas etapas, uma no estágio V4 e outra V8, nas dosagens de 0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N utilizando ureia como fonte de N.

As avaliações foram feitas em estágio R6 (maturação fisiológica) da cultura, sendo colhidas 10 espigas da área útil previamente delimitada. Foi determinando o comprimento médio e diâmetro de espiga com régua graduada. O peso total de grãos foi obtido pelo somatório das massas de grãos das 10 espigas.

A análise estatística foi feita com auxílio do software estatístico R. Para testar a normalidade e homogeneidade das variâncias dos erros foram utilizados os testes de Shapiro Wilck de Cochran & Bartley, respectivamente. Com os pressupostos atendidos, foi realizada a análise de variância (ANOVA) com a aplicação do teste F e, para as variáveis, cujo teste F for significativo, as médias foram comparadas, uma a uma, pelo teste Tuckey, (P<0,05).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O peso total de grãos não inoculado para todas as doses diferiram significativamente, observando incremento de peso juntamente com a elevação nas dosagens, isso já se era esperado já que o híbrido escolhido é de alta tecnologia e responsável a adubação nitrogenada. A mesma situação ocorre para os tratamentos inoculado. Ulger et al. (1995) constataram estreita ligação entre o teor de N presentes nas folhas e os componentes de rendimento, como número de grãos por espiga e massa de grãos, exercendo influência no enchimento de grãos e na produtividade da cultura.

Houve diferença significativa entre as doses inoculadas e as não inoculada, onde o inoculado obteve maior peso de grãos, com elevação gradual na massa produzida nas parcelas em que foi aplicado as maiores doses de adubação nitrogenada. Quanto ao tratamento inoculado a produtividade média foi de 188 sacas ha⁻¹, e a menor de 45 sacas, para as doses de 207 kg ha⁻¹ de N e de 0 kg ha⁻¹ de N (Figura 1).

Nota-se que quanto maior a dose de N maior a diferença de produtividade do inoculado para o não inoculado, Dobbelaere (2002) verificaram que o efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* estirpe Sp 245 e *Azospirillum irakense* estirpe KBC1 foi maior quando associado às doses de N.

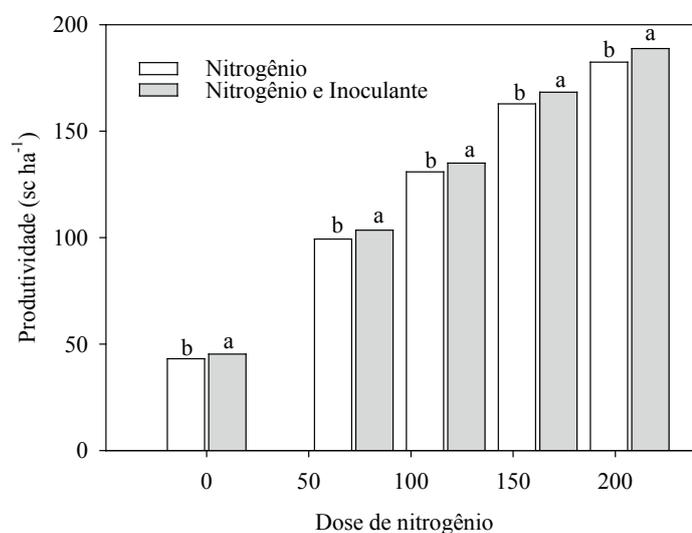


Figura 1. Produtividade em sacas por hectare, para cada dose utilizada no experimento. Médias seguidas de mesma letra dentro de cada dose não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$

Para as doses de nitrogênio utilizadas, o aumento da produtividade de 0 a 207 kg N ha⁻¹, no tratamento não inoculado, elevou linearmente a produtividade das plantas (Figura 2). Já para as doses em que foi associado a inoculação a resposta foi também linear, com a produtividade 45 a 188 sacas por hectare.

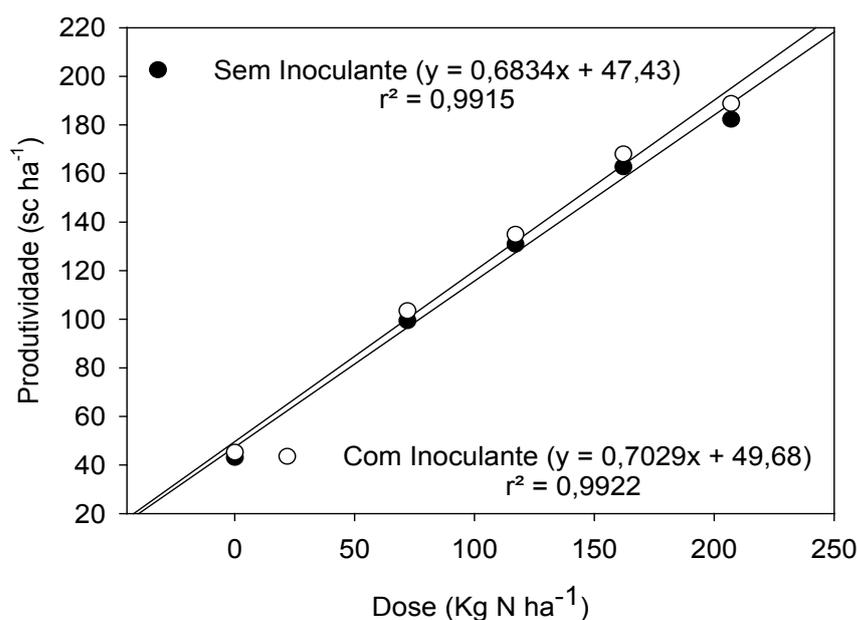


Figura 2. Regressão entre a produtividade em sacas por hectare e as doses de nitrogênio utilizadas no experimento, para os tratamentos inoculados e não inoculados.

Na comparação entre os tratamentos o inoculado sempre foi superior ao não

inoculado. Ferreira et al. (2009), ao estudarem o efeito de diferentes doses de N para três genótipos de milho, constataram que o aumento das doses de N proporcionou reflexo direto na produtividade de grãos. A superioridade da inoculação foi de 2,2 sacas para a dose de 0 kg ha⁻¹ de N, 4 sacas par as doses de 72 e 117 kg ha⁻¹ de N, de 5,3 sacas para a dose de 162 kg ha⁻¹ de N e de 6,4 sacas para a dose de 207 kg ha⁻¹ de N (Figura 3). No comparativo de inoculado e não inoculado com mesma dose de N, em todos os resultados obtidos teve diferença significativa, obtendo-se maior produtividade no inoculado, houve influência da inoculação com *A. brasilense* apresentando incremento na presença da inoculação.

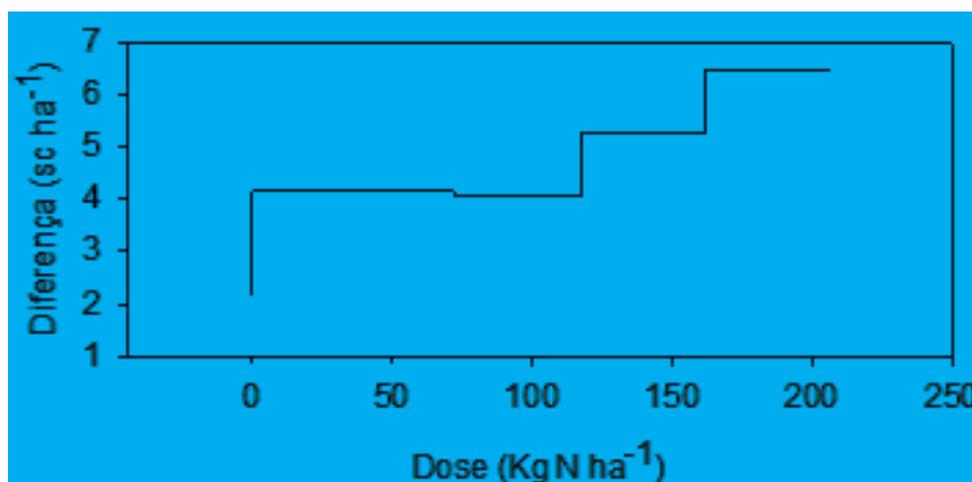


Figura 3. Diferença de produtividade em sacas por hectare, para cada dose utilizada no experimento.

Como constatado houve maiores rendimentos com a utilização do inoculante a base de *Azospirillum brasilense*, percebe-se que há viabilidade econômica no uso dessa tecnologia, já que o custo por hectare é baixo e ganho de produtividade foi comprovado, como visto por Hungria et al. (2010), a inoculação com *Azospirillum brasilense* proporcionou 24 a 30% de incremento no rendimento em relação a ausência de inoculação e Braccini et al. (2012) notaram que a inoculação das sementes com estirpes Abv5 e Abv6 de *A. brasilense* proporcionou incremento de produtividade do milho quando comparado aos tratamentos sem inoculação.

Os híbridos de milho apresentam comportamento diferenciado quanto à maioria das variáveis analisadas, houve maiores rendimentos com a utilização do inoculante a base de *Azospirillum brasilense*. Como constatado houve maiores rendimentos com a utilização do inoculante a base de *Azospirillum brasilense*, percebe-se que há viabilidade econômica no uso dessa tecnologia, já que o custo por hectare e baixo e ganho de produtividade foi comprovado, como visto por Hungria et al. (2010), a inoculação com *Azospirillum brasilense*, proporcionou 24 a 30% de incremento no rendimento em relação a ausência de inoculação e Braccini et al. (2012) notaram que a inoculação das sementes com estirpes Abv5 e Abv6 de *Azospirillum brasilense*, proporcionou incremento de produtividade do milho quando comparado aos tratamentos

sem inoculação.

O aumento da produtividade devido à inoculação com *Azospirillum* nos ensaios conduzidos no Brasil foi correlacionado não só com o aumento do N, mas também com outros nutrientes, como o P e K, fato também relatado em outros países (BASHAN & HOLGUIN, 1997; STEENHOUDT & VANDERLEYDEN, 2000; BASHAN et al., 2004).

Em relação aos níveis de N utilizados, os resultados mostram que, na média, houve um incremento significativo no número e na massa das espigas com o uso do nutriente. Esse efeito positivo do N sobre o rendimento do milho já é bastante conhecido e reforça a importância do elemento para a cultura. Segundo Bredemeier & Muddstock (2000), o N atua diretamente no desenvolvimento do milho, influenciando o rendimento da planta mais do que qualquer outro nutriente.

Nos parâmetros avaliados a realização de inoculação demonstrou-se como uma eficiente alternativa para alavancar a produtividade da cultura do milho. Também efeitos significativos no crescimento e produção das plantas de milho foram obtidos com uma combinação de bactérias indicando uma interação desconhecida ou talvez uma especificidade entre o genótipo da planta e a estirpe bacteriana (BASHAN & HOLGUIN, 1997). Outro estudo foi realizado em sorgo por García-Olivares et al. (2006) testando diversas cepas de *Azospirillum brasilense* que observaram um incremento na biomassa de grãos quando utilizada a inoculação, segundo os autores houve diferenças significativas entre as cepas na produção de grãos, devido principalmente às condições ambientais variáveis durante a colonização de cada cepa, segundo eles a inconsistência de resultados se deve a diversos fatores que são difíceis de identificar.

A utilização de inoculação do milho se torna uma nova ferramenta disponível e viável para os agricultores do Oeste Catarinense, justificada pelos índices observados no acréscimo na produtividade. Em estudos realizados por Campos et al. (2000) na cultura do milho, testando inoculante à base de uma estirpe de *Azospirillum* sp., os autores observaram, que o produto testado não incrementou o rendimento de grãos. Estes resultados foram atribuídos a escolha da estirpe que não foi suficientemente eficiente, e destacam a necessidade de se buscar e testar estirpes adaptadas a cada região em termos de clima, sistema de manejo e cultivares.

Em um extenso estudo em um conjunto de nove ensaios realizados em Londrina e Ponta Grossa, sul do Brasil, com nove estirpes de *Azospirillum*, Hungria et al. (2010) concluíram que as cepas de *A. brasilense* AbV4, AbV5, AbV6 e AbV7 aumentaram o rendimento de grãos de milho de 662 a 823 kg ha⁻¹, 24 a 30%, em relação ao controle não inoculado. Em um segundo ensaio conjunto, com oito experimentos em Londrina e Ponta Grossa, com inoculantes a base de *A. brasilense*, as cepas AbV5 e AbV6 aumentaram o rendimento de milho em 26% (Hungria et al., 2010). Os autores afirmam que os efeitos da inoculação foram atribuídos ao aumento geral da absorção de macro e micronutrientes e não especificamente a fixação biológica de nitrogênio. Também Cavallet et al. (2000) utilizando a inoculação de um produto comercial (Graminante®) à base de *Azospirillum* sp. teve como resultado um aumento significativo rendimento

de grãos de milho de 17%.

Porém, a imprevisibilidade dos resultados de inoculação, positivos e negativos, como o demonstrado por este trabalho, é o que tem limitado o uso comercial destes organismos como inoculantes na agricultura. Os possíveis fatores desta imprevisibilidade podem ser: a competitividade do inoculante com a população nativa de microrganismos, dificuldades na formulação de inoculantes (manutenção da viabilidade, alto número de células e estágio do crescimento), baixa sobrevivência das estirpes inoculadas nos diferentes solos, agentes microbianos adversos, especificidade do inoculante, entre outros (BASHAN E HOLGUIN, 1997).

Percebe-se que há viabilidade econômica no uso dessa tecnologia, já que o custo por hectare é baixo frente ao ganho de produtividade comprovado. A inoculação com *Azospirillum brasilense* é uma tecnologia barata e de baixo impacto ambiental. No entanto, sua indicação técnica ainda precisa ser melhorada, levando-se em conta, entre outros fatores, os genótipos e o nível de investimento adotados na lavoura. Adicionalmente, é necessário buscar e estudar novas estirpes e formulações de inoculantes para aumentar a eficiência da inoculação com o objetivo de diminuir a dose de fertilizantes nitrogenados ou aumentar o rendimento de grãos da cultura do milho.

4 | CONCLUSÕES

Nos parâmetros avaliados a realização de inoculação demonstrou-se como uma eficiente alternativa para alavancar a produtividade da cultura do milho.

A utilização de inoculação do milho se torna uma nova ferramenta disponível e viável para os agricultores do Oeste Catarinense, onde representa uma alternativa de baixo custo, justificada pelos índices observados no acréscimo na produtividade.

REFERÊNCIAS

Bashan, Y.; Holguin, G. *Azospirillum* – plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). *Canadian Journal of Microbiology*, v.43, p.103-121, 1997.

Bashan, Y.; Holguin, G.; DE- Bashan, L.E., *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Canadian Journal of Microbiology*, v.50, p.521-577, 2004.

Braccini, L.A.; Dan, L.G.M.; Piccinin, G.G.; Albrecht, L.P.; Barbosa, M.C.; Ortiz, A.H.T. (2012) Seed inoculation with *Azospirillum brasilense*, associate with the use of bioregulators in maize. *Caatinga*. 25:58-64.

Bredemeier, C.; Mundstock, CM. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, v.30, p.365-372, 2000. Disponível em: . Acesso em: 14 ago. 2013.

Campos, B.C.; Theisen, S.; Gnatta, V. Avaliação do inoculante “Graminante” na cultura de milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 713-715, 2000.

Cavallet, L.E.; Pessoa, A.C. S.; Helmich, J.J.; Helmich, P.R.; OST, C.F. produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* sp. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 129-132, 2000.

Dobbelaere, S. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and A. (2002) irakense strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. Biology and Fertility of Soils. 36:284–297.

Dotto, Adriano P.; Lana, Maria do C.; Steiner, Fábio; Frandoloso, Jucenei F. 2010. Produtividade do milho em resposta à inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* sob diferentes níveis de nitrogênio Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 5, núm. 3, pp. 376-382

Farinelli, R.; Lemos, L.B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.42, n.1, p.63-70, 2012.

Ferreira, A. de O.; Sá, J.C de M.; Briedis, C.; Figueiredo, A.G. (2009) Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 44:173-179.

Food and Agriculture Organization, (2017) Estado da Segurança Alimentar e da Nutrição no Mundo. <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/es/>, Acessado em 28 de Abr de 2018.

Giracca, E. M. N.; Nunes, J. L. S. Nitrogênio (N) – Fertilizantes. Agrolink, 2015. Disponível em: http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_nitrogenio.aspx Acesso em 28 de Abr de 2018.

Glick BR. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Scientifica 2012. <http://dx.doi.org/10.6064/2012/963401>, Acessado em: 28 de Abr. 2018.

Godoy, J. C.; Watanabe, S. H.; Fiori, C. C. L.; Guarido, R. C. (2011) Produtividade de milho em resposta a doses de nitrogênio com e sem inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. Campo Digital. 6:26-30.

Graham, P. H.; Vance C. P. 2000. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. Field Crops Res, v. 65, n. 2-3, p. 93-106.

Hungria, M.; Campo, R.J.; Souza, E.M.S.; Pedrosa, F.O. (2010) Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. Plant Soil. 331:413–425.

MENKIR, A.; LIU, W.; WHITE, W.S.; MAZIYA-DIXON, B.; ROCHEFORD, T. 2008. Carotenoid diversity in tropical-adapted yellow maize inbred lines. Food Chemistry 109, 521-529.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, (2014) Fixação Biológica do Nitrogênio. Programa ABC – Agricultura de Baixo Carbono.

Ohland, R.A.A.; Souza, L.C.F.; Hernani, L.C. et al. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.29, n.3, p.538-544, 2005

Pandolfo, C.M.; Veiga, M.; Massignam, A.M. Resposta do milho à adubação nitrogenada quando cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno, no sistema plantio direto. Agropecuária Catarinense, v.19, n.3, p.79-83, 2006.

Ulger, A.C.; Becker, A.C.; Kant, G. (1995) Response of various maize inbred line and hybrids to increasing rates of nitrogen fertilizer. Journal of Agronomy and Crop Science 159:157-1.

Valer, E.K.; Cirpiani, K.; Biazussi, C.; Pappen, A.; Sordi, A.; Cericato, A.; Lajús, C.R. (2017) Rendimento do milho (*Zea mays* L.) inoculado com *Azospirillum brasilense* e fertilizado com nitrogênio mineral. **Unoesc & Ciência - ACET**, v. 8, n. 1, p. 79-86, ISSN 2178-342X. Disponível em: <<https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/view/13026>>. Acessado em: 30 Abr. 2018.

Xu. J.; Kloepper, J.W.; Huang, P.; McInroy, J.A.; Hu, C.H. (2018) Isolation and characterization of N₂-fixing bacteria from giant reed and switchgrass for plant growth promotion and nutrient uptake. Journal of Basic Microbiology. <https://doi.org/10.1002/jobm.201700535>

SOLUÇÕES CONSERVANTES EM ARMADILHAS *PITFALL TRAPS* PARA CAPTURA DA FAUNA EPIEDÁFICA

Ketrin Lohrayne Kubiak

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dois Vizinhos - Paraná

Dinéia Tessaro

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dois Vizinhos - Paraná

Jéssica Camile Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dois Vizinhos - Paraná

Luis Felipe Wille Zarzycki

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dois Vizinhos - Paraná

Karina Gabrielle Resges Orives

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dois Vizinhos - Paraná

Regiane Franco Vargas

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pato Branco - Paraná

Maritânia Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dois Vizinhos - Paraná

Bruno Mikael Bondezan Pinto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dois Vizinhos - Paraná

RESUMO: Estudos voltados à fauna edáfica são essenciais para o conhecimento da dinâmica desses organismos nos diversos ambientes, considerando as variadas funções por ela desempenhadas no solo contribuindo

para a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos, sendo comum o uso de armadilhas *Pitfall-traps* utilizando diferentes soluções conservantes para a amostragem destes organismos. Desta forma, o estudo objetivou avaliar o potencial atrativo e conservante de diferentes soluções utilizadas em armadilhas *Pitfall-Traps* para captura da fauna epiedáfica em cultivo de *Eucalyptus* spp. Os tratamentos consistiram em diferentes soluções conservantes: álcool etílico hidratado a 70%; solução hipersalina, formol a 4% e, solução de água + detergente neutro. As avaliações foram realizadas por meio de duas coletas com instalação de 10 armadilhas para cada tratamento testado, permanecendo 7 dias a campo. Após a remoção, as armadilhas foram transferidas ao laboratório e seu conteúdo classificado ao menor nível taxonômico possível. Os dados obtidos foram analisados quanto à abundância e riqueza média, índice de diversidade Shannon e uniformidade de Pielou. Os valores totais de organismos distribuídos entre os diferentes grupos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e, ainda submetidos à Análise de Similaridade e Análise de Porcentagem de Similaridade para observação de diferença significativa entre os tratamentos e os grupos contribuintes para a dissimilaridade encontrada. De acordo com os resultados verifica-se que as soluções de álcool

etílico hidratado a 70% e formol a 4% possuem maior potencial conservante e atrativo quando utilizadas em armadilhas *Pitfall traps* para captura da fauna epiedáfica.

PALAVRAS-CHAVE: Biologia do solo, invertebrados edáficos, diversidade, conservação.

ABSTRACT: Studies on soil fauna are essential for the UNDERSTANDING the dynamics of these organisms in different environments, considering the various functions they perform in the soil contributing to the improvement of chemical, physical and biological attributes, and the use of Pitfall traps using different traps preservative solutions for the sampling of these organisms. In this way, the study aimed to evaluate the attractive and preservative potential of different solutions used in Pitfall-Traps traps to capture the epiedaphic fauna in *Eucalyptus* spp. The treatments consisted of different preservative solutions: ethyl alcohol hydrated to 70%; hypersaline solution, 4% formaldehyde and water + neutral detergent solution. The evaluations were carried out by means of two collections with installation of 10 traps for each treatment tested, remaining 7 days in the field. After the removal, the traps were transferred to the laboratory and their contents classified at the lowest possible taxonomic level. The data obtained were analyzed for abundance and average richness, Shannon diversity index and Pielou uniformity. The total values of organisms distributed among the different groups were compared by the Tukey test at 5% of probability and also submitted to Similarity Analysis and Similarity Percentage Analysis to observe a significant difference between the treatments and the groups contributing to dissimilarity found. According to the results it is verified that the solutions of 70% ethyl alcohol and 4% formaldehyde have a higher preservative and attractive potential when used in Pitfall traps traps to capture the epiedaphic fauna.

KEYWORDS: Soil biology, edaphic invertebrates, diversity, conservation.

1 | INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais de nosso planeta, o solo apresenta extrema importância, pois significativa parcela dos alimentos, direta ou indiretamente tem origem nos campos de cultivo ou nas pastagens (LEPSCH, 2016), tornando essencial a compreensão dos processos que nele ocorrem. Considerando sua importância, conhecer e monitorar sua qualidade a partir da análise de indicadores físicos, químicos e biológicos (MELO et al., 2009), é possível realizar o manejo mais adequado com vistas a manutenção de mantendo sua qualidade.

O Brasil possui uma das maiores biodiversidades do planeta, sendo a fauna do solo um significativo elemento dessa diversidade. Embora oculta, na sua maior parte, por estar incorporada ao solo ou a serapilheira, realiza importantes serviços ambientais, pouco reconhecidos e valorizados (MELO et al., 2009).

Essa diversidade biológica tem expressiva influência na manutenção da capacidade produtiva do solo, sendo indispensável para que haja a decomposição e mineralização de substâncias orgânicas, contribuindo na disponibilidade de nutrientes

às plantas e também para outros indivíduos (BROWN & SAUTTER, 2009). Considerando sua íntima relação com o solo, a fauna edáfica revela-se sensível as alterações no ambiente, decorrentes das técnicas de manejo do solo e de cultivo empregadas, as quais, dependendo da amplitude do impacto gerado ao ambiente, podem desencadear efeitos sobre algumas populações de organismos edáficos, ou seja, podem ampliar, reduzir ou não influenciar a diversidade dos organismos (BARETTA et al., 2011).

Segundo Aquino e Correia (2005) a fauna de solo pode ser classificada de acordo com o tempo que vivem no solo, o habitat, sua mobilidade, hábito alimentar e função desempenhada no solo. No entanto, uma das classificações mais utilizadas pelos pesquisadores é a classificação proposta por Swift et al. (1979), em que os grupos pertencentes a biota do solo pode ser classificada de acordo com seu tamanho. A microfauna a qual é representada por organismos microscópicos, com diâmetro corporal menor que 0,2 mm, mesofauna representada por invertebrados com diâmetro corporal de 0,2-2,0 mm e macrofauna composta por invertebrados com diâmetro corporal maior que 2,0 mm.

Os indivíduos da microfauna são essenciais na ciclagem, decomposição de serapilheira, e no fluxo da energia dentro do solo, colaborando na transformação do material orgânico no estoque de carbono e nutrientes (BROWN et al., 2006), sendo representados por diferentes grupos funcionais de vasta importância nos ecossistemas terrestres (CARES; HUANG, 2008, 2012).

Os organismos da mesofauna exercem importante função detritívora, contribuindo para a decomposição da matéria orgânica, influenciando diretamente na fertilidade do solo, além de realizar o controle das populações de outros organismos, especialmente de fungos e bactérias (LAVELLE, 1996; BARETTA, 2011), Participam ainda da aceleração e reciclagem de nutrientes, na humificação e, principalmente na mineralização e imobilização de fósforo e nitrogênio (SOCARRÁS, 2013).

A macrofauna por sua vez, age principalmente na modificação das propriedades físicas do solo, destacando-se especialmente pela criação de estruturas biogênicas (galerias, ninhos, câmaras), quebra da matéria vegetal em fragmentos menores facilitando a disponibilidade desses recursos para outros organismos (BROWN et al., 2001; LAVELLE et al., 1997; MELO et al, 2009). Pela variedade e intensidade das funções que cumprem no solo, esses macroinvertebrados têm sido considerados não apenas indicadores, mas também agentes da restauração em locais degradados (SNYDER & HENDRIX, 2008).

Neste contexto, Devides & Castro (2009), descrevem os organismos edáficos como primordiais para o funcionamento dos solos, sendo essencial o desenvolvimento de estudos que permitam conhecer o componente biológico do solo e quais fatores afetam a distribuição dos grupos que habitam o sistema solo-serapilheira. Em levantamentos de organismos edáficos, um método de amostragem amplamente utilizado é a armadilha de solo do tipo *Pitfall traps*, que corresponde a uma armadilha de interceptação em que o organismo ao se deslocar sobre o solo cai acidentalmente

em um recipiente contendo solução conservante, geralmente formulada a base de formol diluído. Entretanto, apesar de ser usado amplamente, o formol apresenta como desvantagem o fato de enfraquecer as articulações dos artrópodes se expostas por longo período de tempo à campo (AQUINO; MENEZES; QUEIROZ, 2006).

As soluções também podem ser formuladas apenas com água e detergente, se o tempo de coleta for curto (SUTHERLAND, 1996; ALMEIDA; RIBEIRO-COSTA; MARINONI, 2003), formol 4% para a coleta da fauna em geral (MOLDENKE, 1994), álcool 50% para a coleta de insetos (ARAÚJO et al., 2005) ou ainda segundo (MACHADO et al., 2012) solução hipersalina com concentração ideal de 10 a 15 gramas por 200 ml de água com tempo de coleta de 5 dias. Alguns autores sugerem a solução de etilenoglicol, etanol 92% e formol 40% na proporção de 70:28:2 e duas gotas de detergente caseiro por litro de solução (FREITAS; FRANCINI; BROWN JR, 2004). A utilização de detergente é indicada para quebrar a tensão superficial do meio, permitindo que os invertebrados fiquem dispersos na armadilha. Já o formol, reduz a fuga de insetos saltadores e muito esclerotizados como os grilos adultos, os quais são menos permeáveis à solução de detergente (SPERBER; VIEIRA; MENDES, 2003).

Deste modo Machado et al. (2012), destaca que alguns destes produtos podem tornar o método oneroso e ineficiente a campo dependendo do tempo de coleta. Neste sentido, destaca-se ainda a carência de trabalhos relacionados à eficiência de diferentes soluções conservantes em levantamentos de fauna de solo, fomentando, portanto, a necessidade do desenvolvimento de estudos que investiguem diferentes tipos de soluções conservantes, como uma alternativa viável do ponto de vista econômico em estudos de grandes proporções. Além disso, os referidos autores destacam a importância de conhecer a capacidade de conservação dos organismos edáficos pelas soluções durante os períodos de amostragem a campo, bem como verificar se cada solução apresenta potencial atrativo sobre os diferentes grupos edáficos, o que poderia levar a resultados distintos de densidade e possivelmente, de diversidade de grupos.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial atrativo e conservante de diferentes soluções conservantes utilizadas em armadilhas *Pitfall traps* para captura da fauna epiedáfica em cultivo de *Eucalyptus spp.*

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área de Teste de Uso Múltiplo do *Eucalyptus* (TUME) instalado com plantio em dezembro de 2009, localizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Dois Vizinhos – Paraná, (latitude 25°41'50" S; longitude 53°05'56" W), com altitude média de 530 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é Cfa (subtropical úmido), com chuvas bem distribuídas durante o verão (ALVARES et al., 2013). O local apresenta precipitação média de

2025ml anuais e temperaturas médias de 19°C (IAPAR 2010). O solo é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013).

O local de estudo encontra-se florestado com 14 espécies de eucalipto, sendo: *Eucalyptus urophylla*, *E. camadulensis*, *E. pellita*, clone GFMO-27, clone I224, *E. urophylla* clone floração, *E. exserta*, *E. propinqua*, híbrido *E. saligna* x *botroides*, híbrido *E. pellita* x *terecticomis*, híbrido *E. grandis* X *camadulensis*, clone H13, *E. citriodora* e *E. robusta* que são clones ou híbridos originados de mudas clonais obtidas da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, SP, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP.

O estudo foi desenvolvido a partir de duas coletas, realizadas nos meses de outubro e dezembro de 2015, em virtude das temperaturas mais elevadas, que aceleram o processo de degradação do material orgânico, incluindo os organismos amostrados, permitindo melhor observação no processo de conservação nas diferentes soluções. Os tratamentos avaliados consistiram no uso de diferentes soluções conservantes, sendo: T1 (AL): álcool etílico hidratado a 70%; T2 (SN): solução hipersalina (15g de NaCl/200mL de água); T3 (FL): formol a 4% e, T4 (DT): solução de água + detergente neutro (15mL de detergente/litro de água).

Para a amostragem da fauna e análise do potencial conservante das diferentes soluções, foram utilizadas armadilhas de queda (*Pitfall-traps*), caracterizadas como um método qualitativo, para avaliação de organismos epiedáficos, ou seja, representantes da meso e macrofauna com comportamento ecológico epigéico (BIGNEL et al., 2010). As armadilhas foram compostas por recipientes plásticos com volume de 500 mL e preenchidas com cada solução conservante até atingir 1/3 do volume total do recipiente. Para fixação dos recipientes no solo, foi utilizado um trado holandês para abertura de buracos e, em seguida os recipientes foram enterrados com sua abertura nivelada com a superfície do solo. Para evitar a entrada de água da chuva e terra, tornando a solução conservante inviável, foram confeccionadas coberturas utilizando pratos descartáveis fixados ao solo por palitos de madeira.

Em cada coleta foram instaladas 10 armadilhas para cada um dos tratamentos testados, totalizando 40 armadilhas por coleta. As armadilhas foram dispostas de maneira a formar um delineamento inteiramente casualizado na área de coleta, distanciadas em 10 metros entre si. As armadilhas permaneceram a campo por 7 dias e então transportadas ao laboratório, onde o conteúdo foi lavado em água corrente com o auxílio de peneira de malha fina para a remoção de resíduos de solo e da solução conservante sendo novamente acondicionados em solução de álcool 70%. Após a triagem inicial, o conteúdo proveniente de cada armadilha foi analisado individualmente, com auxílio de microscópio estereoscópico binocular, e a classificação, baseada em chaves dicotômicas de classificação (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011), ao menor nível taxonômico possível.

Buscando verificar a eficiência conservante das soluções, os organismos amostrados foram classificados atribuindo-lhes uma nota tomando como critério o seu

estado de conservação, conforme o proposto por Machado et al. (2012), seguindo as características abaixo descritas:

- Nota 1: Organismos em ótimo estado de conservação, apresentando todos os apêndices, boa consistência e ausência de odor;

- Nota 2: Organismos em bom estado de conservação, apresentando a maioria dos apêndices, consistência mediana e sem odor;

- Nota 3: Organismos com conservação precária, sem apêndices, consistência macia e forte odor.

A fim de avaliar a diversidade da fauna epiedáfica em cada tratamento foram elaborados gráficos de frequência relativa dos grupos edáficos, além de obtidos os dados de abundância e riqueza média, índice de diversidade Shannon e uniformidade de Pielou através do programa Past versão 3.21 (HAMMER, 2018). Os valores totais de organismos distribuídos entre os diferentes grupos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo programa ASSISTAT, versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

Os dados foram submetidos à Análise de Similaridade (ANOSIM) para observação das diferenças na composição da comunidade edáfica e, para casos significativos, foi realizada a Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER) tendo por objetivo verificar quais grupos mais contribuíram para a dissimilaridade encontrada (MELO; HEPP, 2008) utilizando o programa Primer 5.2.6© (PRIMER-E LTD, 2001). Utilizando os dados de abundância, com auxílio do programa estatístico CANOCO versão 4.5 (TER BRAAK; SMILAUER, 2002), foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA) para observação da distribuição dos grupos da fauna epiedáfica e sua relação com os tratamentos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o estudo foram coletados 19 grupos taxonômicos na primeira coleta em outubro/2015 e 17 grupos na segunda coleta em dezembro/2015.

Na coleta realizada em outubro de 2015, foram identificados 15 grupos taxonômicos na solução AL%, 13 na solução FL, 11 na solução SN e, 9 na solução DT. Os grupos Blattodea, Chilopoda, Hemiptera, Isopoda, Haplotaxida e Orthoptera não foram observados no tratamento com solução detergente, sendo que o grupo Gastropoda foi encontrado apenas nesta solução. De modo geral, analisando o gráfico de frequência (Figura 1), referente a coleta 1, observa-se que em todas as soluções testadas ocorreu elevada frequência de Collembola, seguida por organismos do grupo Formicidae, Coleoptera e Diptera. No entanto, apesar da elevada ocorrência de Collembola em todas as soluções, verifica-se predominância do grupo na solução FL (totalizando 90,61% dos organismos) seguido da solução AL (82,01%).

Os colêmbolos são organismos comuns e abundantes em todo o mundo dentre

os mais variados sistemas de produção. Alimentam-se de microrganismos e matéria orgânica em decomposição e desta forma, influenciam na ecologia microbiana, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo. (OLIVEIRA FILHO; BARETTA, 2016), sendo ainda considerados excelentes bioindicadores da qualidade ambiental, devido a sua alta sensibilidade (BARETTA et al., 2008; KLEIN et al., 2016).

Durante a segunda coleta foram identificados 13 grupos taxonômicos na solução AL, 11 na solução FL, 11 na solução SN e, 10 na solução DT. Observou-se a exclusividade de grupos como Dermaptera e Hemiptera em AL, assim como, o grupo Chilopoda em FL, sendo este grupo um importante predador, o qual auxilia no controle de populações de outros artrópodes, a exemplo dos besouros (GUIZZE et al., 2016).

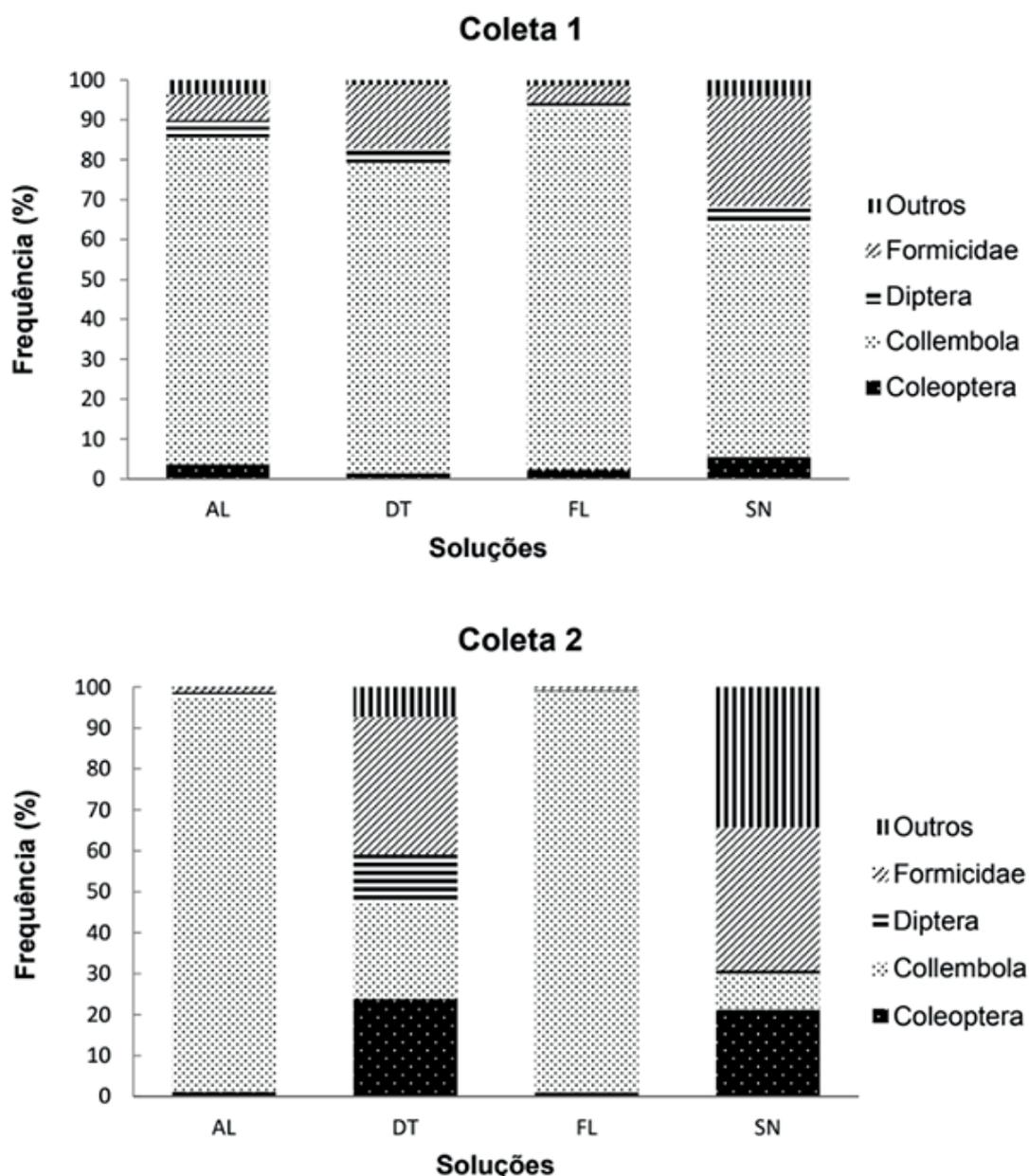


Figura 1: Frequência relativa da primeira e segunda coleta das principais ordens da fauna epiedáfica para as diferentes soluções conservantes. Média de 10 repetições. SN (Solução Salina); FL (Solução de formol 4%); DT (Solução detergente); AL (Solução Álcool 70%).

Fonte: O AUTOR (2018).

O grupo Haploxida foi observado exclusivamente nas soluções de formol 4% e

solução salina. Os organismos inclusos neste grupo são influenciados pelo material que compõe a serapilheira, podendo, dependendo de suas características alterar o número de indivíduos presentes. Desta forma, sua presença é considerada um bioindicativo de qualidade biológica do solo (BARETTA et al., 2011). Contudo, a reduzida abundância de organismos deste grupo, pode estar associada neste estudo ao monocultivo de Eucalipto presente no local de coleta. Sendo a vegetação e o tipo de solo fatores determinantes para sua presença (BROW; DOMÍNGUEZ, 2010). No entanto, devido a variação existente das minhocas de acordo com a sua categoria ecológica quanto a habitação, sendo ela sob a superfície em serapilheira ou em camadas mais profundas no perfil do solo (STEFFEN et al., 2013), ocorre a dificuldade em amostrar organismos deste grupo por armadilhas de queda como utilizado no estudo.

Em relação a frequência de organismos na segunda coleta, verifica-se a exemplo da primeira amostragem, elevada frequência de Collembola (Figura 1) principalmente nas soluções AL (totalizando 96,51% dos organismos) e FL (98,08%) seguido de elevada frequência de organismos da família Formicidae na solução DT (33,60%) e SN (34,94%). A família Formicidae, segundo grupo mais frequente possui ampla distribuição, estando presente nos mais diferentes habitats (SILVA et al., 2008), sendo denominados “engenheiros do solo”, juntamente com as minhocas, cupins e besouros, estando diretamente relacionadas à bioturbação do solo (KORASAKI et al., 2013). Estudos como de Neto et al. (2018), relatam elevada predominância da família Formicidae em diferentes áreas de plantio de eucalipto, assim como encontrado neste estudo.

A elevada frequência dos grupos Collembola e Formicidae nas duas coletas realizadas deve-se principalmente ao fato do ambiente possuir elevada quantidade de serapilheira, criando condições favoráveis ao desenvolvimento dos organismos, especialmente do grupo Collembola, diretamente afetado pela umidade do solo (WALLWORK, 1976). No entanto, ambientes onde a cobertura vegetal mantém-se inalterada, com condições de umidade e temperatura do solo mais estáveis, tendem a favorecer o desenvolvimento de organismos com diferentes estratégias de sobrevivência (MOÇO et al., 2005; ASHFORD et al., 2013), justificando a elevada abundância de outros grupos.

Este resultado, portanto, assemelha-se ao encontrado por Tacca et al., (2017), o qual verificou elevada frequência dos grupos Formicidae e Collembola em diferentes coletas em área com plantio de eucalipto no município de São José do Cedro, região Extremo Oeste do estado de Santa Catarina.

Analisando a (Tabela 1) verifica-se que a abundância média e a riqueza média de organismos entre a primeira e segunda coleta diferiu estatisticamente nos tratamentos. Em ambas as coletas verificam-se maiores valores de abundância média em AL e FL, os quais não diferiram entre si, observando-se valores superiores para a riqueza média de grupos durante a primeira coleta em AL (7,4) e SN (6,8), enquanto a menor riqueza encontra-se associada ao tratamento DT (4,8).

Em ambas as coletas os tratamentos SN e DT apresentaram menor abundância, diferindo dos tratamentos AL e FL, contudo sem diferir entre si. Em relação à riqueza para a segunda coleta, observa-se que a maior riqueza média se encontra associada ao tratamento AL (7,3), não diferindo dos tratamentos FL e DT sendo o tratamento SN o de menor riqueza média (4,5), o qual difere estatisticamente de AL. Desta forma, verifica-se que em ambas as coletas a solução conservante AL e FL apresentou maior potencial conservante e atrativo quando utilizadas em armadilhas *Pitfall traps* para captura da fauna epiedáfica, em comparação com os dados obtidos para a solução SN e DT.

Grupos	1º Coleta Outubro/2015			
	Soluções			
	AL	SN	FL	DT
Ab. média ¹	534,7a	159,6b	443a	150b
Riqueza média	7,4a	6,8a	6,1ab	4,8b
Pielou	0,45	0,59	0,31	0,51
Shannon	0,86	1,11	0,54	0,78
Grupos	2º Coleta Dezembro/2015			
	Soluções			
	AL	SN	FL	DT
Ab. Média ²	1381,55a	39,2b	1372,6a	36,9b
Riqueza média	7,3a	4,5b	5,8ab	5,7ab
Pielou	0.34	0.74	0.15	0.81
Shannon	0.69	1.04	0.28	1.39

TABELA 1- Abundância média dos grupos taxonômicos, Riqueza média, Uniformidade de Pielou e Diversidade de Shannon em relação as diferentes soluções: AL (solução de álcool 70%), SN (solução salina), FL (solução formol 4%), DT (solução detergente).

¹Dados transformados logx, ² Dados transformados em 1/raiz.

De acordo com os índices de diversidade de Shannon (Tabela 1), o qual considera a riqueza das espécies e sua abundância relativa, observa-se na primeira coleta que este foi superior no tratamento SN (1,11) seguido do tratamento AL (0,86), DT (0,78) e o tratamento FL (0,54). Este resultado deve-se ao fato de nos tratamentos FL e DT, haver predominância dos grupos Collembola e Formicidae em comparação aos demais grupos. Para a segunda coleta observa-se que o índice de diversidade de Shannon é maior para os tratamentos DT (1,39) e SN (1,04), seguido do tratamento AL (0,69) e FL (0,28), onde houve predominância dos grupos Collembola e Coleoptera em relação aos demais grupos. Já o índice de uniformidade de Pielou se refere ao padrão de distribuição dos organismos entre os grupos, tendo os tratamentos AL e FL elevada predominância do grupo Collembola reduzido a uniformidade da distribuição nas duas amostragens.

Quando submetidos à Análise de Similaridade (ANOSIM), verifica-se que houve diferença na composição da comunidade epiedáfica dentre as soluções conservantes (Figura 2). A ANOSIM apontou diferença significativa entre todos os

tratamentos para a primeira (R= 0,371; p = 0,01) e segunda coleta (R = 0,517; p = 0,01), sendo realizado o SIMPER para observação da contribuição dos principais grupos em relação a diferenciação dos mesmos.

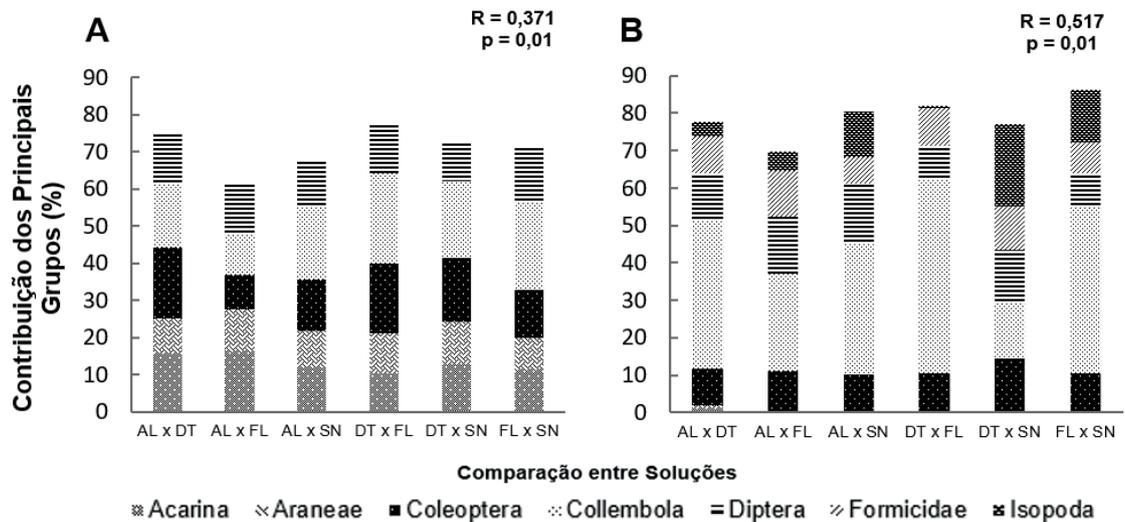


Figura 2: Contribuição dos principais grupos da fauna epiedáfica para a diferenciação entre as soluções conservantes. AL (Solução Álcool 70%); DT (Solução detergente); FL (Solução de formol 4%); SN (Solução Salina).

Fonte: O AUTOR (2018).

É observado para a primeira coleta (Figura 2A), maior representatividade dos grupos Acarina, Araneae, Coleoptera, Collembola e Diptera para (AL), favorecendo a diferenciação entre os demais tratamentos. Os grupos Collembola e Coleoptera foram mais frequentes no tratamento FL quando comparado aos tratamentos DT e SL, sendo os principais responsáveis pela diferenciação entre eles. Quando comparadas as soluções DT e SN, a diferenciação ocorre pela maior presença de colêmbolos para o tratamento DT e dos demais para SN.

Durante a segunda coleta (Figura 2B), a presença dos grupos Coleoptera e Collembola foi superior para os tratamentos AL e FL, favorecendo sua diferenciação. Os grupos Formicidae e Diptera foram também mais expressivos para a solução AL, enquanto a solução salina se diferenciou principalmente pela presença elevada de indivíduos do grupo Isopoda. O tratamento DT apresentou diferenciação relacionada à alta frequência do grupo Collembola.

A Análise de Componentes Principais (PCA) para a fauna epiedáfica explicou 57,4% da variação dos dados para a primeira coleta (Figura 3A), apresentando separação dos tratamentos em relação à distribuição dos grupos da fauna epiedáfica. A Componente Principal 1 (CP1) explica 40,7% da variação dos dados, enquanto a Componente Principal 2 (CP2) explica 16,7% da variação, indicando correlação do tratamento AL com os grupos Acari, Coleoptera, Diptera, Formicidae e Orthoptera. O tratamento FL encontra-se correlacionado à classe Collembola, mostrando-se altamente eficiente para a conservação destes organismos, sendo possível a identificação das cores presentes nos diferentes grupos.

É possível observar a separação dos tratamentos DT e SN, não apresentando correlação com grupos da fauna epiedáfica. Estes tratamentos se mostraram menos eficientes quanto ao processo de conservação dos organismos, uma vez que os indivíduos apresentaram deterioração na estrutura corporal, consistência macia e forte odor, dificultando a identificação taxonômica dos mesmos.

Para a segunda coleta, a PCA (Figura 3B) resultou em 78,5% da explicação da variância dos dados, sendo a CP1 responsável por 67,2% e a CP2 por 11,3%, demonstrando separação dos tratamentos pela distribuição dos organismos. Observa-se correlação da classe Collembola com o tratamento FL e dos grupos Coleoptera e Formicidae com AL.

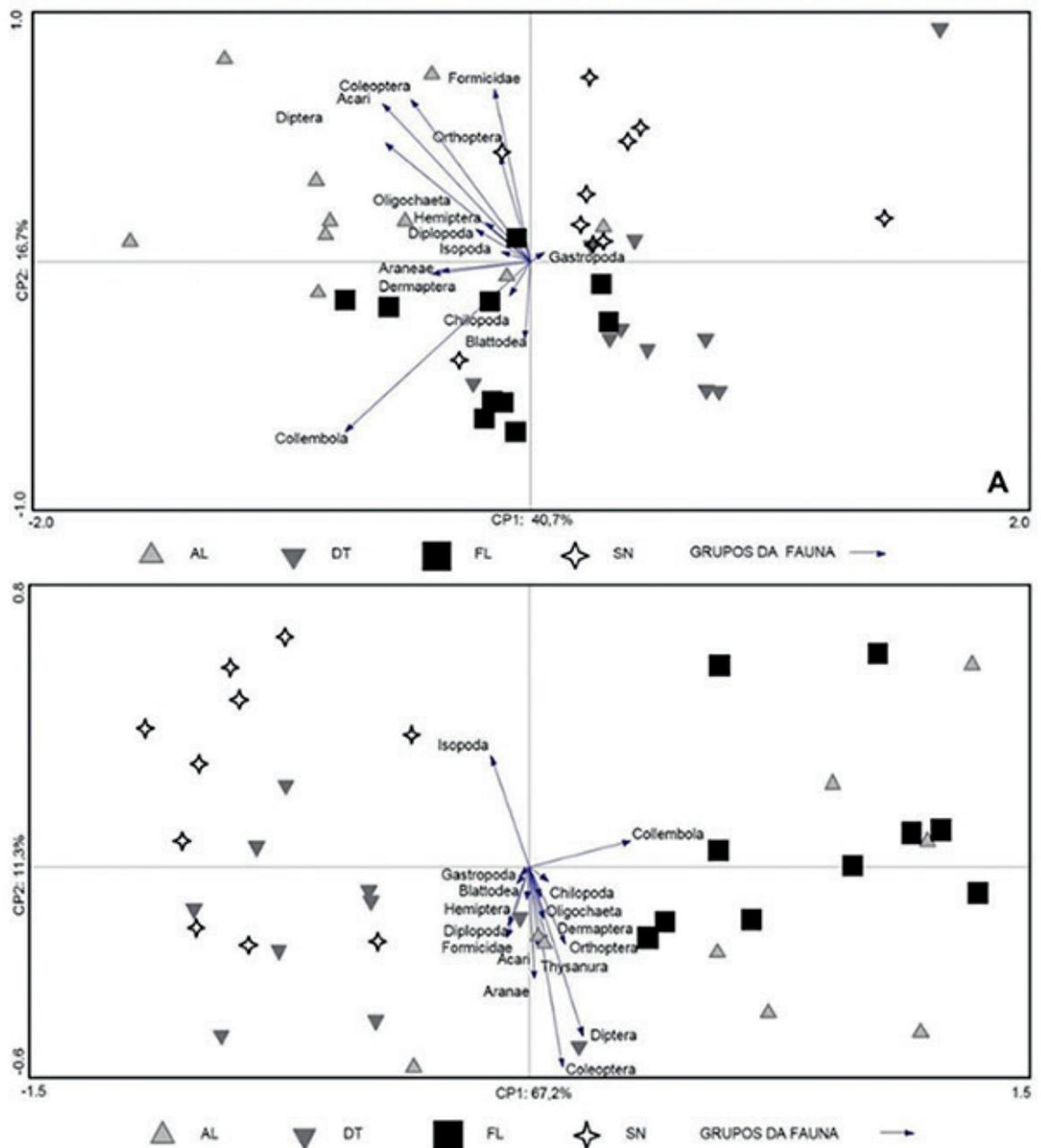


Figura 3: Análise de componentes principais (ACP) para organismos da fauna epiedáfica associada a diferentes soluções conservantes. AL (Solução álcool 70%); DT (Solução detergente); FL (Solução de formol 4%); SN (Solução Salina).

Fonte: O AUTOR (2018).

De modo geral, é possível observar por meio de dados quantitativos e qualitativos a elevada eficiência de conservação da fauna epiedáfica para os tratamentos AL e FL em relação aos tratamentos DT e SN, sendo estes primeiros capazes de maior atração e conservação dos indivíduos, facilitando estudos de maior duração à campo, bem como o posterior processo de identificação taxonômica. Em contrapartida, os tratamentos DT e SN apresentam baixa eficiência na conservação dos indivíduos, uma vez que os organismos amostrados são incapazes de manter os aspectos originais.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados apresentados pode-se afirmar que as soluções T1: álcool etílico hidratado a 70% e a solução T3: formol a 4% possuem maior potencial conservante e atrativo quando utilizadas em armadilhas *Pitfall traps* para captura da fauna epiedáfica, enquanto a solução T2: solução salina não é indicada para a conservação dos organismos em períodos de amostragem a campo com a durabilidade testada neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. M.; RIBEIRO-COSTA, C. S. R.; MARINONI, L. **Manual de coleta, conservação, montagem e identificação de insetos**. Ribeirão Preto: Holos, 2003. 88 p. (Série Manuais Práticos em Biologia.).
- AQUINO, A. M.; MENEZES, E. L. A.; QUEIROZ, J.M. **Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (“Pitfall-Traps”)**. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, Brasil, 2006. Circular técnica 18: 8p.
- ARAÚJO, R. A. et al. **Impacto da queima controlada da palhada da cana-de-açúcar sobre as comunidades de insetos locais**. Neotropical Entomology, Londrina, v. 34, n. 4, p. 650-658, 2005.
- ASHFORD, O. S. et al. **Litter manipulation and the soil arthropod community in a lowland tropical rainforest**. Soil Biology and Biochemistry, v. 62, p. 5-12, 2013.
- BARETTA, D. et al. **Colêmbolos (Hexapoda: collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com Araucaria angustifolia**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2693-2699, 2008.
- BARETTA, D. et al. **Fauna edáfica e qualidade do solo**. In: Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 119-170, 2011.
- BIGNEL, D. et al. **Macrofauna**. In: MOREIRA, F. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. Manual de biologia dos solos tropicais. Lavras: UFLA, 2010, p. 79-129.
- BROWN, G. G.; DOMÍNGUEZ, J. **Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas—o 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETA03)**. Acta Zoológica Mexicana (ns), v. 26, n. 2, 2010.
- BROWN, G.G. & SAUTTER, K.D. **Biodiversity, conservation and sustainable management of soil animals: the XV International Colloquium on Soil Zoology and XII International Colloquium on Apterygota**. Pesq. Agropec. Bras., 44:1-9, 2009.

BROWN, G.G., et al. **Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems**. In: Sistema Agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável. Campos dos Goytacazes, RJ - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 2006.

BROWN, George G. et al. **Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos**. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), n. Es1, p. 79-110, 2001.

CARES, J. E.; HUANG, S. P. **Comunidades de nematoides de solo sob diferentes sistemas na Amazônia e Cerrados brasileiros**. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros, Lavras: UFLA, p. 409-444, 2008.

CORREIA, M. E. F. **Relações entre a diversidade da fauna de solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas**. Seropédica: Embrapa Agroecologia, 2002. 18 p. (Documento 156).

DA SILVA OLIVEIRA, B. et al. **Atributos Biológicos do Solo em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-floresta, na Região Amazônica**. Revista Engenharia Na Agricultura-Reveng, v. 23, n. 5, p. 448-456, 2015.

DE MELO, F. V. et al. **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como biondicadores**. Boletim Informativo da SBCSI janeiro-abril, p. 39, 2009.

DEVIDE, A. C. P.; CASTRO, C. M. **Manejo do solo e a dinâmica da fauna edáfica**. 2009. [acesso em 29 de jan de 2018]. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/ManejoSolo/index.htm>

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

FREITAS, A. V. L.; FRANCINI, R. B.; BROWN JR, K. S. **Insetos como indicadores ambientais**. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALADARES-PADUA, C. Métodos de estudo em biologia da conservação e manejo da vida. Curitiba: UFPR, 2004. p. 125-151.

GARLET, J.; COSTA, E. C.; BOSCARDIN, J. **Caracterização da fauna edáfica em plantios de *Eucalyptus spp.*** Ciência Florestal, Santa Maria. V. 23, n.3, p. 337-344. Jul-set, 2013.

GUIZZE, S. P. et al. **Predatory behavior of three centipede species of the order Scolopendromorpha (Arthropoda: Myriapoda: Chilopoda)**. Zoologia (Curitiba), v. 33, n. 6, 2016.

HAMMER, Ø. **PAST: Paleontological Statistics Version 3.21 Reference Manual**. Natural History Museum: University of Oslo, 1999-2018. 264p.

IAPAR. Instituto agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná: Classificação climática**. 2010.

KLEIN, I.; CERICATO, A.; PREUSS, J. F. **Entomofauna associada à cultura de milho transgênico (Bt) e convencional no município de Iraceminha, Santa Catarina, Brasil**. Unoesc & Ciência - ACET, Joaçaba, v. 7, p. 167-173, julho/dezembro 2016.

KORASAKI, V.; MORAIS, J. W. de; BRAGA, R. F. (2013). Macrofauna. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Editora da UFLA, p. 79-128.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de textos, 2016.

LOUZADA, J.N.C.; SCHOEREDER, J.H.; DE MARCO, JR. P. 1997. **Litter decomposition in semideciduos forest and *Eucalyptus spp.*** Crop in Brazil: A comparison. Forest Ecology and

Management, 94:31-36.

MACHADO, D. N. et al. **Avaliação de solução de cloreto de sódio em armadilhas de queda em pinus elliottii engelm.: preservação de formigas como um indicador da qualidade ambiental.** La Plata, Argentina. VII Congreso de Medio Ambiente /AUGM – 22 a 24 de maio de 2012.

MAJER, J. D.; RECHER, H. 1999. **Are eucalypts Brazil's friend or foe: an entomological viewpoint.** Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 28:185-200. MORELLATO, L.P.C.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. **Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p.435-444, 2003.

MELO, A. S.; HEPP, L. U. **Ferramentas estatísticas para análises de dados provenientes de biomonitoramento.** Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, 2008

MOÇO, M. K. et al. **Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 4, p. 555-564, 2005.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. In: Weaver, R.W., Bottomley, S.; Bezdicek, P.; Smith, D.; Tabatabai, S.; Wollum, A. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties.** Madison: SSSA, 1994. Part 2. p. 517-542.

NETO, T. D. A. C. et al. **Relação fauna do solo-paisagem em plantio de eucalipto em topossequência.** Floresta, v. 48, n. 2, p. 213-224, 2018.

PAOLETTI, M. G. **Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability.** Agric. Ecosyst. Environ., 74:1-18, 1999.

PRIMER-ELTD. **Primer 5 for Windows, Version 5.2.6.** Copyright©2001.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. **The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data.** African Journal of. Agricultural Research, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, R. F. da. et al. **Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado.** Acta Scientiarum Agronomy, v.30, p.725-731, 2008.

SNYDER, Bruce A.; HENDRIX, Paul F. **Current and potential roles of soil macroinvertebrates (earthworms, millipedes, and isopods) in ecological restoration.** Restoration Ecology, v. 16, n. 4, p. 629-636, 2008.

SOCARRÁS, Ana. **Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo.** Pastos y Forrajes, v. 36, n. 1, p. 5-13, 2013.

SPERBER, C. F.; VIEIRA, G. H.; MENDES, M. H. **Improving litter cricket (Orthoptera: Gryllidae) sampling with pitfall traps.** Neotropical Entomology, Londrina, v. 32, n. 4, p. 733-735, 2003.

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; JACQUES, R. J. S. **Importância ecológica e ambiental das minhocas.** Revista de Ciências Agrárias, v. 36, n. 2, p. 137-147, 2013.

SUTHERLAND, W. J. **Ecological census techniques: a handboool.** Cambridge: Cambridge University, 1996. 336 p.

TACCA, D.; KLEIN, C.; PREUSS, J. F. **Artropodofauna do solo em um bosque de eucalipto e um remanescente de mata nativa no sul do Brasil.** Revista Thema, v. 14, n. 2, p. 249-261, 2017.

TER BRAAK, C.J.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to Cabici for Windows: software for canonical community ordination (version 4.5)**. New York: Microcomputer Power, 2002. 500 p.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **Estudo dos insetos**. Cengage Learning, 2011. 816p.

WALLWORK, J. A. **The distribution and diversity of soil fauna**. London: Academic Press, 1976. 355 p.

USO DE COVARIÁVEIS AMBIENTAIS PARA A PREDIÇÃO ESPACIAL DO CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

Nícolás Augusto Rosin

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – Rio Grande do Sul

Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – Rio Grande do Sul

Jean Michel Moura-Bueno

Embrapa Cocais
São Luís – Maranhão

Taciara Zborowski Horst

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – Rio Grande do Sul

João Pedro Moro Flores

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Diego José Gris

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – Rio Grande do Sul

RESUMO: O carbono orgânico do solo (COS) é uma importante propriedade do solo, desempenhando uma série de funções ambientais e sendo um dos principais indicadores da qualidade do solo. Além disso, o solo é o maior reservatório de carbono orgânico do planeta terra, atuando como fonte ou dreno de CO₂ da atmosfera dependendo do manejo. Desse modo, conhecer a distribuição de COS na paisagem é fundamental. Isso pode ser feito por técnicas de Mapeamento Digital de Solos

(MDS), que utilizam dados e sensoriamento remoto com baixo custo aliados a métodos estatísticos multivariados, facilitando o processo de obtenção de informações sobre os solos. Este trabalho teve como objetivos: i) construir um modelo de predição para o conteúdo de COS em escala de propriedade rural; ii) identificar as covariáveis que mais explicam a variação do COS na paisagem. Foram coletados 261 pontos nas profundidades de 0 - 5, 5 - 15 e 15 - 30 cm em uma propriedade agrícola. A predição espacial foi realizada pelo método multivariado *Boosted Regression Trees* (BRT) utilizando 24 covariáveis ambientais representando a topografia e a cobertura do solo. Os resultados alcançados foram satisfatórios com R² de 0,57 (0 - 5 cm), 0,56 (5 - 15 cm) e 0,50 (15 - 30 cm). As covariáveis mais importantes para a predição foram elevação, uso da terra, banda 5 do Landsat 8 e declividade. O método BRT apresentou acurácia satisfatória para predição do COS, explicando mais de 50% da variação do COS na paisagem.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem espacial; Pedometria; Pedologia quantitativa.

ABSTRACT: Soil organic carbon (SOC) is an important soil property responsible for a number of environmental functions, serving as one of the main indicators of soil health. Besides, soils are the largest reservoir of organic carbon on Earth,

acting as a source or sink of CO₂ to the atmosphere according to its management. Therefore, it is fundamental to know the distribution of SOC in the environment. This can be achieved through Digital Soil Mapping (DSM) techniques, which use low-cost remote sensing data combined with multivariate statistical methods, facilitating the process of obtaining information about soils. The objectives of this study were: i) build a model for prediction of SOC content at farm scale; ii) identify the covariates that better explain SOC variation in the environment. Samples were collected at 261 locations at depths of 0-5, 5-15 and 15-30 cm at a farm. Spatial prediction was performed by the multivariate method of Boosted Regression Trees (BRT) using 24 environmental covariates representing topography and land cover. Satisfactory results were achieved, with R² of 0.57 (0-5 cm), 0.56 (5-15 cm) and 0.50 (15-30 cm). The most important covariates for the prediction were elevation, land use, band 5 of Landsat 8, and slope. The BRT method had reasonable accuracy for SOC prediction, explaining more than 50 % of SOC variation in the environment.

KEYWORDS: Spatial modelling; Pedometrics; Quantitative pedology.

1 | INTRODUÇÃO

O carbono orgânico do solo (COS) é uma importante propriedade do solo, pois desempenha uma série de funções no ambiente e está relacionada com a produção agrícola. O COS do solo está relacionado com os fluxos de CO₂ para a atmosfera e é um grande reservatório de carbono do ecossistema terrestre (BATJES; SOMBROEK, 1997). O uso e manejo do solo tem influência no ciclo do COS e conseqüentemente na emissão de CO₂ para atmosfera. Isso tem refletido no aumento da demanda por informações de COS em grande escala, que permita o planejamento sustentável do solo em escala de propriedade rural (MCBRATNEY; FIELD; KOCH, 2014).

Dentre os fatores que determinam o conteúdo de COS e sua variabilidade na paisagem, estão as covariáveis ambientais derivadas dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) (KEMPEN; BRUS; STOORVOGEL, 2011). Essas covariáveis estão relacionadas com as classes de solo e propriedades de solo. Sendo assim, elas condicionam perdas e ganhos de COS ao longo da paisagem.

O aporte de resíduos orgânicos em uma área está relacionado ao uso da terra (BERNOUX et al., 2002). Já as taxas de humificação (ganho) e mineralização (perda), assim como as perdas por erosão e escoamento superficial são influenciadas pelo relevo local e práticas de manejo (BERNOUX et al., 2002).

Nos solos do Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil, as áreas mais baixas e de drenagem fechada, apresentam características hidromórficas, gerando um aumento do teor de COS devido a diminuição da taxa de mineralização causada pela anaerobiose do ecossistema. Por outro lado, nas áreas mais elevadas a umidade do solo verificada é menor, permitindo maiores taxas de mineralização e em áreas de boa drenagem e com declividades elevadas, as perdas por mineralização são somadas com a erosão

e escoamento superficial.

Assim, quando o material geológico é homogêneo espera-se que as covariáveis ambientais que caracterizam os fluxos na paisagem, somadas a aquelas que caracterizam o aporte de carbono orgânico ao solo, possam servir como covariáveis preditoras da distribuição de COS na paisagem, utilizando técnicas de mapeamento digital de solos (MDS). O MDS vem sendo empregado para suprir a demanda por informações de solos, integrando técnicas computacionais com a ciência do solo (DALMOLIN; TEN CATEN, 2015).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivos: i) construir um modelo de predição para o conteúdo de COS em escala de propriedade rural; ii) identificar as covariáveis que mais explicam a variação do COS na paisagem.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma propriedade rural de 940 ha (Figura 1), localizada no município de Giruá, Rio Grande do Sul, Brasil. O clima (Köppen) é do tipo Cfa e o relevo varia de suave ondulado a ondulado.

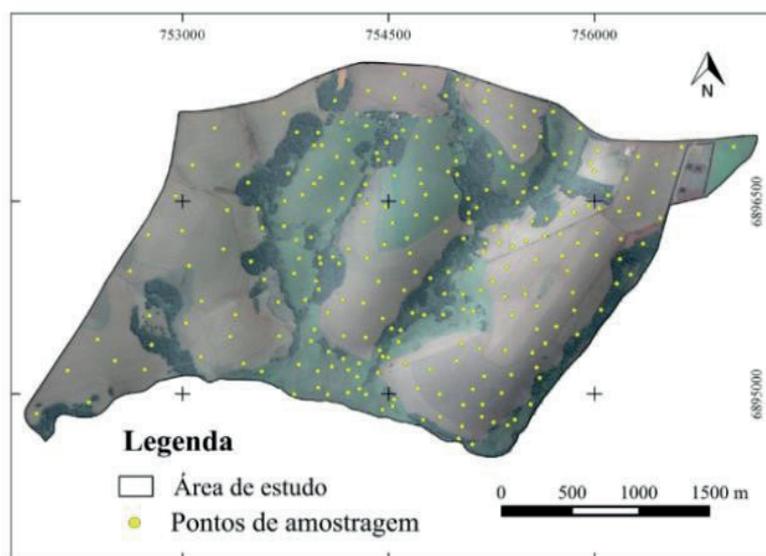


Figura 1. Mapa da área de estudos e distribuição dos pontos de amostragem do solo (n = 261), com imagem do Google Earth.

Os solos da área são derivados de basalto da Formação Serra Geral. Nos locais de relevo plano ou suavemente ondulado com boa drenagem, predominam Latossolos Vermelhos Distroféricos típicos e em condições de drenagem imperfeita, predominam Gleissolos Háplicos Tb Distrófico típicos. As coberturas da terra predominantes são: mata nativa, lavoura em sistema plantio direto e campo nativo.

Para definição dos locais de amostragem no campo foi confeccionada uma malha de amostragem irregular, contendo 400 pontos, para representar a variabilidade ambiental da área. A partir desta malha foram selecionados, georreferenciados e coletados 261 pontos (Figura 1) em locais definidos com base no conhecimento do

pedólogo e na facilidade de acesso aos pontos.

Em cada ponto amostral foram coletadas amostras deformadas nas profundidades 0 – 5, 5 – 15 e 15 – 30 cm. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. O teor de carbono orgânico do solo (COS) foi determinado via combustão úmida (0,5 g de solo + 10 ml $K_2Cr_2O_7$ 0,067 mol L⁻¹) com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988). A titulação dos extratos do Carbono Orgânico Total (COT) foi realizada com $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,5 mol L⁻¹, utilizando como indicador a fenantrolina.

Além dos dados de COS, foram derivadas 18 covariáveis ambientais do Modelo Digital de Elevação (MDE) TOPODATA, com resolução espacial de 30 m, utilizando o *software* SAGA GIS. As covariáveis derivadas do MDE foram: elevação (elev), aspecto (asp), curvatura planar (cplan), curva horizontal (horzn), declividade numérica (declin), declividade 5 classes (decli5), curvatura vertical numérica (vertn), índice de rugosidade do terreno (tri), curvatura vertical 3 classes (cv3c), curvatura vertical 5 classes (cv5c), curvatura horizontal 3 classes (ch3c), curvatura horizontal 5 classes (ch5c), declividade em relação a elevação (sloph), formas do terreno (forter), declividade normalizada (norh), profundidade do vale (vd), declividade padronizada (sdh), convexidade da superfície do terreno (tsc). Também foi utilizada uma imagem do Landsat 8 para derivar 6 covariáveis relacionadas a cobertura do solo, sendo elas: bandas b4, b5, b6 e b7 e a razão entre as bandas b7 e b5 (b5b7). A covariável uso da terra (usot) foi vetorizada com base em uma imagem do Google Earth. Isso totalizou em 24 covariáveis preditoras utilizadas para construir o modelo de predição para o conteúdo de COS.

O aprendiz estatístico utilizado foi o *Boosted Regression Trees* (BRT) – árvores de regressão impulsionadas, segundo (WANG et al., 2017). O desempenho da predição foi calculado usando a validação cruzada *leave-one-out* avaliando as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação (R^2), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), e proporção de desempenho no intervalo interquartil (RPIQ). Todas as análises foram realizadas no ambiente de programação R (R CORE TEAM, 2017).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de COS variaram de 0,97% na camada 15 - 30 cm até 5,64% na camada 0 - 5 cm, com os maiores valores e menor variação na camada superior (0- 5 cm) (Tabela 1).

Camada	Média (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	CV (%)
0 - 5 cm	3,09	1,74	5,64	29
5 - 15 cm	2,16	1,06	5,45	35
15- 30 cm	1,74	0,97	4,55	35

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de carbono orgânico do solo.

CV: coeficiente de variação.

Na predição espacial da camada 0 - 5 cm as covariáveis mais importantes foram em ordem decrescente a elev, usot, b5, slopeh e b4 (Figura 2a). Já para a camada 5 - 15 cm as covariáveis mais importantes foram slopeh, usot, elev, ch5c e sdh (Figura 2b). Para a camada 15 - 30 cm as mais importantes foram elev, slopeh, usot, sdh e declin (Figura 2c). A mudança na importância das covariáveis indica que a quantidade de COS é condicionada por diferentes covariáveis ambientais nas camadas de solo estudadas. Na camada superficial, uso da terra, elevação apresentam importâncias próximas (15 e 12 %). O teor de COS da camada 5 – 15 cm é bastante influenciado pela declividade (15 %), devido aos processos de transporte e deposição de sedimentos contendo COS na paisagem. Já o COS em profundidade 15 – 30 cm é reflexo das mudanças de relevo (35 %) que (após longos períodos) irão condicionar o acúmulo em profundidade.

O uso da terra, a elevação e a declividade foram importantes em todas as profundidades. O uso da terra tem relação com a quantidade de aporte de matéria orgânica ao sistema, enquanto os atributos de terreno tem relação com a permanência e distribuição do COS na paisagem (KHEIR et al., 2010). Grande parte das covariáveis não apresentou muita importância na predição do COS de forma individual, apenas quando foram agrupadas (Figura 2).

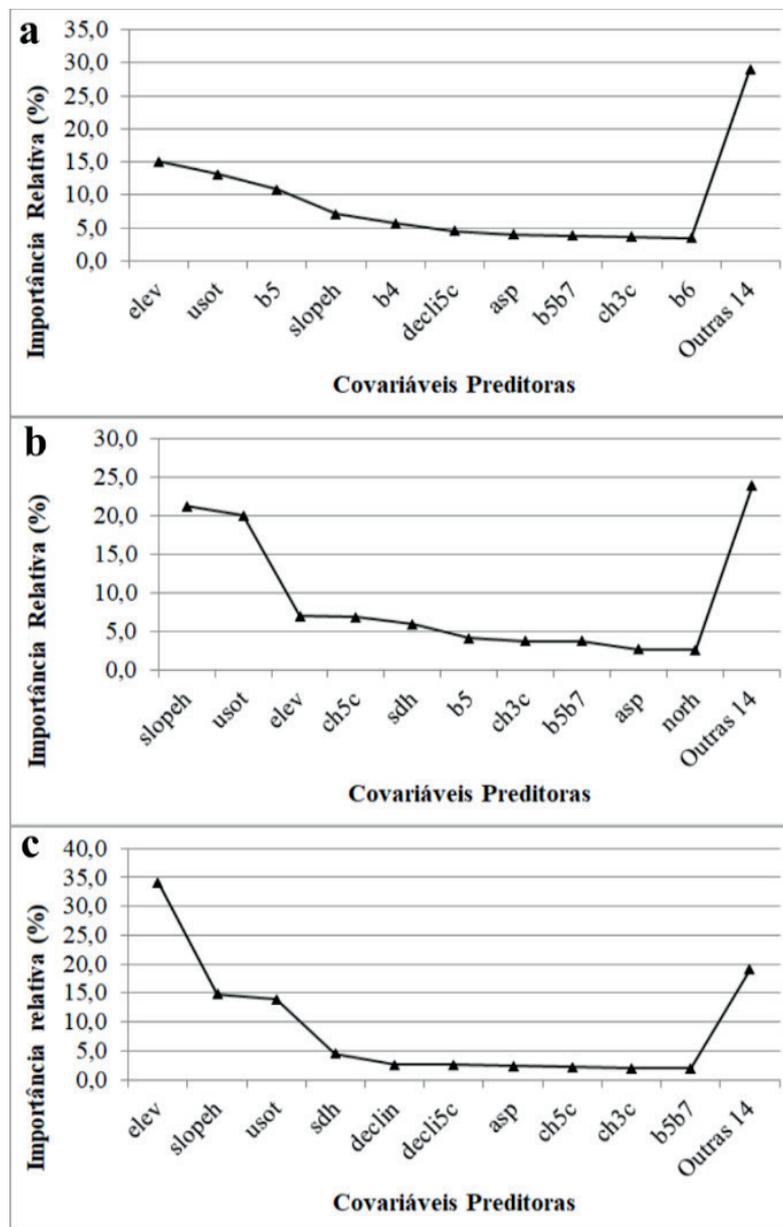


Figura 2. Importância das covariáveis para predição de COS nas camadas 0 – 5 (a), 5 - 15 (b) e 15 - 30 (c).

As predições apresentaram boa acurácia (Tabela 2), sendo próximos dos encontrados por Kheir et al. (2010) que alcançaram $R^2 = 69,5$. No presente estudo, na camada 0 – 5 cm o modelo teve ajuste melhor que as demais camadas ($R^2 = 0,57$). O RMSE caiu de 0,67 % na camada 0 – 5 cm para 0,46 % na camada 15 – 30 cm. Enquanto na camada superior o erro representa aproximadamente 21,68% da média do COS na área de estudo, nas camadas adjacente, representa 25 e 26 %, respectivamente.

Na camada de 5 - 15 cm foi verificada acurácia quase semelhante a camada superficial ($R^2 = 0,56$) e (RMSE = 0,67 %) que representa aproximadamente 25% da média do COS na área. A acurácia semelhante pode ser explicada pelo fato de ambas às camadas serem afetadas pelo cultivo do solo e sofrerem perda/ganho de COS pela ação da água da chuva.

Na camada mais profunda foi verificado um decréscimo da acurácia em relação às

camadas superficiais ($R^2 = 0,55$) e ($RMSE = 0,46\%$) que representa aproximadamente 26,44% da média do COS na área de estudo.

Camada	R^2	RMSE (%)	RPIQ
0 – 5 cm	0,57	0,67	1,54
5 – 15 cm	0,56	0,54	1,36
15 – 30 cm	0,50	0,46	0,95

Tabela 2. Acurácia dos modelos de predição de COS.

R^2 : coeficiente de determinação; RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio; RPIQ: proporção de desempenho no intervalo interquartil

As diferenças de acurácia encontradas entre as camadas podem ser explicadas pela variação dos atributos do terreno e pela perda de COS quando o solo é cultivado, sendo que essas perdas aumentam com a declividade do terreno. Mesmo em terras não cultivadas, o padrão se mantém, o relevo condiciona as perdas por erosão ou o acúmulo de resíduos que ao decompor-se aumentarão o teor de COS. Essa influência é mais acentuada na camada superficial, dando espaço para outros fatores não relacionados ao relevo condicionarem o teor de COS nas camadas mais profundas.

Os mapas provenientes da predição de COS encontram-se na figura 3. As áreas em cor verde correspondem a locais da paisagem de acúmulo de sedimentos, em que são observados os maiores conteúdos de COS. Essas áreas apresentam o uso da terra campo nativo e floresta nativa associada à baixas elevações e declividade. As áreas de cores mais claras estão relacionadas ao uso da terra lavoura e a locais com declividade mais alta, as quais favorecem as perdas de COS para posições mais baixas de terreno. Os resultados encontrados no presente estudo mostram o potencial da técnica de MDS para gerar informações espaciais em escala de propriedade rural.

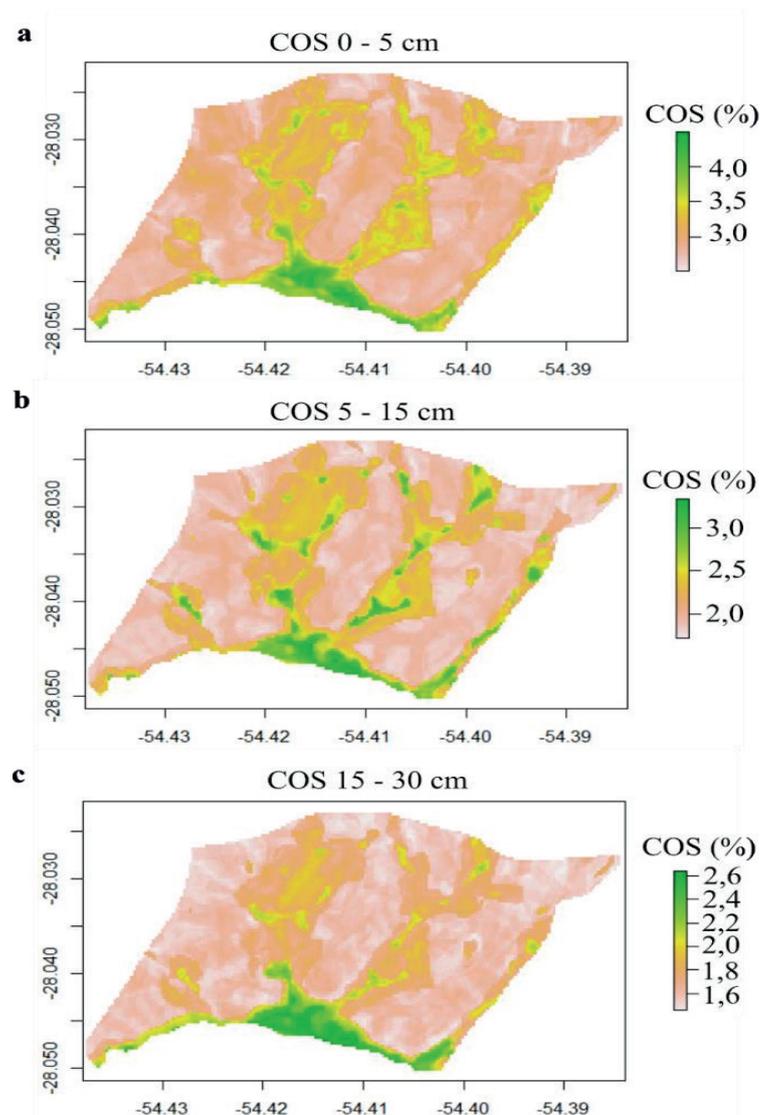


Figura 3. Teor de carbono orgânico do solo (COS) predito para camada 0 – 5 cm (a), 5 - 15 cm (b) e 15 - 30 cm (c).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método Boosted Regression Trees (BRT) apresentou resultados satisfatórios na predição do teor de COS, explicando mais 50% da variação do COS e demonstrando o potencial das técnicas de MDS para mapeamento do COS.

As covariáveis mais importantes na predição foram elev, usot, b5 do Landsat e sloph e para estudos futuros recomenda-se selecionar apenas as covariáveis com maior importância e testar outros aprendizes estatísticos.

REFERÊNCIAS

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. **Brazil's Soil Carbon Stocks.** Soil Science Society of America Journal, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002.

BATJES, N. H.; SOMBROEK, W. G. **Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils.** Global Change Biology, v. 3, p. 161-173, 1997.

DALMOLIN, R. S. D.; TEN CATEN, A. **Mapeamento Digital: nova abordagem em levantamento de solos**. *Investigación Agraria*, v. 17, n. 2, p. 77-86, 2015.

KEMPEN, B.; BRUS, D. J.; STOOORVOGEL, J. J. **Three-dimensional mapping of soil organic matter content using soil type-specific depth functions**. *Geoderma*, v. 162, p. 107-123, 2011.

KHEIR, R. B.; GREVE, M. H.; BØCHER, P. K.; GREVE, M. B.; LARSEN, R.; MCCLOY, K. **Predictive mapping of soil organic carbon in wet cultivated lands using classification-tree based models: The case study of Denmark**. *Journal of Environmental Management*, v. 91, p. 1150-1160, 2010.

MCBRATNEY, A.; FIELD, D. J.; KOCH, A. **The dimensions of soil security**. *Geoderma*, v. 213, p. 203-213, 2014.

R Core Team, 2017. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

WANG, S.; ZHUANG, Q.; WANG, Q.; JIN, X.; HAN, C. **Mapping stocks of soil organic carbon and soil total nitrogen in Liaoning Province of China**. *Geoderma*, v. 305, p. 250-263, 2017.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. **A rapid and precise method routine determination of organic carbon in soil**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

USO DO BIOATIVADOR DE SOLO E PLANTA NA CULTURA DO MILHO SEGUNDA SAFRA

Cláudia Fabiana Alves Rezende

UniEVANGÉLICA, Av. Universitária Km. 3,5 - Cidade
Universitária - Anápolis - GO CEP: 75083-515.
Anápolis, GO. Fone: (62) 3310-6004.
claudia7br@msn.com

Rodrigo Caixeta Pinheiro

UniEVANGÉLICA, Av. Universitária Km. 3,5 - Cidade
Universitária - Anápolis - GO CEP: 75083-515.
Anápolis, GO. Fone: (62) 3310-6004.
rodrigocaixetapinheiro@hotmail.com

Jéssica de Lima Pereira

UniEVANGÉLICA, Av. Universitária Km. 3,5 - Cidade
Universitária - Anápolis - GO CEP: 75083-515.
Anápolis, GO. Fone: (62) 3310-6004.
jessicalpereira13@hotmail.com

Carlos Henrique Melo

UniEVANGÉLICA, Av. Universitária Km. 3,5 - Cidade
Universitária - Anápolis - GO CEP: 75083-515.
Anápolis, GO. Fone: (62) 3310-6004.
carloshenrique_melo@hotmail.com

Thiago Rodrigues Ramos Farias

UniEVANGÉLICA, Av. Universitária Km. 3,5 - Cidade
Universitária - Anápolis - GO CEP: 75083-515.
Anápolis, GO. Fone: (62) 3310-6004.
professorthiagor@gmail.com

João Maurício Fernandes Souza

joaomfsouza@gmail.com

como objetivo avaliar o uso de bioativador de solo, Penergetic®-K e de planta Penergetic®-P na cultura do milho. Foi utilizada a cultivar LG 6038. Foram implantados quatro tratamentos que levaram em consideração a aplicação da tecnologia Penergetic®-K e Penergetic®-P e a testemunha (adubação convencional). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e seis repetições. A avaliação da eficiência dos tratamentos foi verificada com a amostragem de solo para análise química, por meio da coleta de 12 amostras simples e coleta de folhas no florescimento pleno da cultura. O uso de Penergetic® não interferiu sobre a altura e o diâmetro das plantas. Os diferentes usos do bioativador não diferiram entre si quanto aos componentes da fertilidade, com relação ao pH, K, Al e V do solo, mas apresentaram significância para P, Ca, Mg, H+Al, MO e CTC. Na floração as plantas se encontravam nutricionalmente deficiente em N, P e S, mas excessivo o Ca e Mg. Na avaliação do K, somente a aplicação do Penergetic®-K, apresentou plantas adequadamente nutridas. Sugerem-se mais pesquisas para a elucidação das propriedades observadas pelo uso do Penergetic®.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*; penergetic®; solos intemperizados.

ABSTRACT : Considering the complexity of

RESUMO: Considerando-se a complexidade da disponibilidade de nutrientes no sistema solo-planta em Latossolos, este trabalho teve

the nutrient availability in the soil-plant system in Oxisols, this work had the objective of evaluating the use of Penergetic®-K and Penergetic®-P bioactivator in the maize crop. The cultivar LG 6038 was used. Four treatments were implemented that took into account the application of Penergetic®-K and Penergetic®-P technology and the control (conventional fertilization). The experiment was conducted in a completely randomized design with four treatments and six replicates. The evaluation of the efficiency of the treatments was verified with the soil sampling for chemical analysis and leaf collection in the full flowering of the crop. The use of Penergetic® did not interfere with the height and diameter of the plants. The different uses of the bioactivator did not differ with respect to the fertility components, with respect to pH, K, Al and V of the soil, but showed significance for P, Ca, Mg, H + Al, OM and CTC. In flowering plants were found to be nutritionally deficient in N, P and S, but excessive Ca and Mg. In the evaluation of K, only the application of Penergetic®-K, presented adequately nourished plants. Further research is suggested to elucidate the properties observed with the use of Penergetic®.

KEYWORDS: *Zea mays*; Penergetic®; weathered soils.

1 | INTRODUÇÃO

O solo representa um componente básico à agricultura, a conservação da qualidade agrônômica é essencial para a manutenção da produção em longo prazo. A expansão da atividade agrícola levou a um questionamento quanto à qualidade dos sistemas de manejo do solo e uso (Salton et al., 2008). A grande agricultura no Cerrado é feita, em sua maioria, nos Latossolos. Os Latossolos representam 45 % dos solos no Bioma Cerrado, sendo muito intemperizados, profundos, não-hidromórficos, com teor de argila entre 15 e 80 % e nutricionalmente pobres. Mais de 95 % são distróficos ou álicos e apresentam pH entre 4,0 e 5,5, baixa CTC, alta capacidade de adsorção aniônica (especialmente fosfato) e teores baixos de fósforo (P) disponível por Mehlich-1 ($> 1,0 \text{ mg kg}^{-1}$) (Leal & Velloso, 1973).

Em diferentes períodos do desenvolvimento e em diferentes condições, as plantas apresentam diferentes demandas de nutrientes. Alguns nutrientes são encontrados disponíveis no solo, no entanto, e outros podem ser adsorvidos no solo, não sendo disponibilizados para as plantas durante seu desenvolvimento (Jakiene et al., 2009).

A utilização de produtos bioativadores da microbiota do solo e atividade fotossintética vegetal auxilia na redução dos custos de produção, degradação ambiental, aumento da qualidade do solo e produtividade das culturas (Trentin et al., 2014). Os bioativadores são definidos como sendo a mistura de reguladores vegetais entre eles ou com outros produtos, os quais agem na degradação de substâncias de reserva das sementes, na diferenciação, divisão e alongamento celulares (Castro & Vieira, 2001).

Segundo Fernandes et al. (2010), o Penergetic® é uma tecnologia em bioativação,

e proporciona melhor crescimento das raízes e melhor absorção de nutrientes, aumento do vigor das plantas e otimização da eficácia dos fertilizantes e defensivos. Existem dois produtos comerciais o Penergetic®-Kompost (K) e o Penergetic®-Pflanzen (P). O Penergetic®-K objetiva melhorar e acelerar o processo de decomposição e mineralização de palhadas; estabelecer um melhor equilíbrio dos microrganismos do solo; promover melhor enraizamento e simbiose microbiana; mineralizar e solubilizar o P imobilizado no solo. O Penergetic®-P tem como propriedades o aumento da eficiência fotossintética, aumento do potencial de produtividade, melhoria do estado nutricional das plantas e o desenvolvimento do equilíbrio biológico e fisiológico da planta.

Considerando-se a importância da fertilidade do solo e a complexidade da disponibilidade de nutrientes no sistema solo-planta em Latossolos, este trabalho teve como objetivo avaliar o uso de bioativador de solo, Penergetic®-K e de planta Penergetic®-P na cultura do milho (*Zea mays* L.).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em um solo de exploração agrícola, localizado entre as coordenadas geográficas, Latitude 16°19'36"S e Longitude 48°27'10"W, com altitude 1.017 m. O clima da região é classificado de acordo com Köppen, como Aw (tropical com estação seca) com mínima de 18 °C e máxima de 32 °C, com chuvas de outubro a abril e precipitação pluviométrica média anual de 1.450 mm e temperatura média anual de 22 °C.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (42 % argila) (Santos et al. 2013), conduzido na metodologia de plantio direto e apresentou as seguintes características químicas: pH CaCl₂ 5,00; Ca 3,3 cmol_c dm⁻³; Mg 0,6 cmol_c dm⁻³; Al 0,0 cmol_c dm⁻³; K 83,0 mg dm⁻³; P 1,7 mg dm⁻³; MO 1,9 %; CTC 7,7 cmol_c dm⁻³ e V 53,3 %. Não foi realizada a calagem em área total devido à baixa necessidade apresentada. As plantas daninhas presentes na área foram dessecadas com paraquat (2,5 L ha⁻¹).

O plantio da cultura do milho cultivar LG 6038, híbrido de dupla aptidão, com tecnologia VT PRO2, foi realizado no mês de Janeiro de 2017 (3,8 sementes m⁻¹) e cobertura realiza com 300 kg ha⁻¹ no estágio V7. Foram implantados quatro tratamentos em delineamento inteiramente casualizado, que levaram em consideração a aplicação da tecnologia Penergetic®-Kompost (K) no solo (300 g ha⁻¹) e Penergetic®-Pflanzen (P) via foliar (300 g ha⁻¹) aos 30 dias após a emergência (DAE), como bioativador do solo e planta, e testemunha. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e seis repetições.

No Tratamento 1 foi utilizada a adubação convencional NPK com 05-25-15+30 kg FTE Gran 12 (400 kg ha⁻¹); Tratamento 2 constitui-se plantio com adubação convencional NPK e aplicação do Penergetic® P; Tratamento 3 constitui-se da aplicação em pré-semeadura do Penergetic®-K e plantio com adubação convencional NPK; Tratamento 4 constitui-se da aplicação em pré-semeadura do Penergetic®-K,

plantio com adubação convencional NPK e aplicação do Penergetic®-P. Cada parcela foi constituída de 11 linhas de 7,0 m de comprimento x 3,6 m de largura, e espaçadas de 0,65 m.

Foram avaliadas a biometria das plantas (altura, diâmetro, no colo, no momento da coleta das folhas), e os parâmetros de fertilidade do solo (através da análise do solo) e parâmetros de nutrição de plantas (através da análise foliar). A avaliação da eficiência dos tratamentos foi verificada com a amostragem de solo para análise química, por meio da coleta de 12 amostras simples (entrelinha e linha) para cada tratamento de solo por parcela de forma aleatória na profundidade de 00-0,20 m, com auxílio de trado holandês.

Todas as avaliações realizadas após a instalação dos experimentos foram respeitadas o espaçamento de 7,5 m entre as parcelas úteis dos tratamentos para que não ocorressem interferências e desprezada a bordadura. O solo foi encaminhado ao laboratório e as características químicas foram determinadas através de análises laboratoriais do solo coletado, conforme metodologia proposta por Donagema et al. (2011). Foram analisadas as características químicas, tais como: pH (CaCl_2 e SMP), matéria orgânica (MO), teores de fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}) trocáveis, teor de alumínio (Al^{+3}), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

Para avaliação da composição mineral da folha, ou o teor de elementos encontrados, as amostras de folhas foram coletadas na cultura do milho no aparecimento da inflorescência feminina, foi coletada a folha oposta abaixo da espiga (trinta folhas ha^{-1}) (Malavolta et al., 1997), essas folhas foram lavadas em água corrente e colocadas em sacos de papel. As amostras de folhas foram devidamente identificadas e encaminhadas para serem analisadas em laboratório de análise de solos e folhas, seguindo a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Os teores de nutrientes foliares foram estimados de acordo com as seguintes metodologias: nitrogênio (N) (método micro Kjeldahl), fósforo total (P) (colorimetria – método de metavanadato), potássio (fotometria de chama), enxofre total (S) (método turbidimétrico), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (método espectrofotometria de absorção atômica). Os teores de micronutrientes foliares foram estimados de acordo com as seguintes metodologias: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (método espectrofotometria de absorção atômica).

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e quando ocorreram diferenças significativas, identificadas pelo teste F ($P < 0,05$), se aplicou o teste de medias de Tukey e, posteriormente, à análise de correlação de Pearson (r). O programa estatístico utilizado foi a Assistat 7.7 (Silva & Azevedo, 2016).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de Penergetic® não interferiu sobre a altura e o diâmetro das plantas

quando comparado a adubação convencional (Tabela 1), supõe-se que sob circunstâncias adequadas de temperatura, água e nutrientes, como as observadas durante o desenvolvimento da cultura, o Penergetic® não interferiu no crescimento e no diâmetro das plantas.

	Altura (m)		Diâmetro (mm)	
Adução convencional (AD)	2,58	a	25,20	a
AD + Penergetic®-K	2,55	a	25,60	a
AD + Penergetic®-P	2,53	a	22,70	b
AD + Penergetic®-K e P	2,58	a	26,25	a
Teste F	0,46	ns	6,96	**
CV(%)	4,46		7,46	

Tabela 1. Características agrônômicas de plantas de milho segunda safra quando submetidas a diferentes tratamentos com uso do bioativador de solo e planta Penergetic®, Anápolis-GO

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Observou que mesmo não sendo encontrada diferença significativa entre os tratamentos para a altura, verificou-se que a equação de regressão de 2ª grau ajustou se aos dados ($Y = 0,02x^2 - 0,102x + 2,665$; $R^2 = 0,9$), entretanto, essa informação é muito subjetiva, podendo ter muitas explicações para o mesmo fato ocorrido, visto a dispersão dos dados observada (Tabela 1). Já para o diâmetro das plantas observou-se que a equação de regressão de 3ª grau ajustou se aos dados ($Y = 1,625x^3 - 11,4x^2 + 23,22x + 11,75$; $R^2 = 1,00$), dessa maneira, os resultados mostram que o uso do bioativador de solo e planta interferiu na variável de crescimento e diâmetro do caule, sendo que pouco interferiu na altura final das plantas.

À análise química do solo (Tabela 2), interpretada conforme Souza & Lobato (2004), revela que em todos os tratamentos o pH se apresenta dentro da faixa considerado adequado, os valores de MO no solo foram considerados dentro da faixa média após a retirada dos tratamentos e baixo antes da instalação dos experimentos. Segundo Pekarskas et al. (2011), o Penergetic®-K é um mineralizador de MO. Se a MO for mineralizada lentamente no solo, pode ocorrer a a escassez de N, se tornando evidente a diminuição do rendimento da cultura (Stopes et al., 2002).

Neste trabalho se observa um incremento do Carbono orgânico no solo, caracterizando o manejo conservacionista dado a cultura, mesmo com a mineralização da MO promovida pelo Penergetic®-K, ainda ocorre um incremento no solo em todos os tratamentos (Tabela 2). Os coeficientes de variação para as concentrações dos nutrientes no solo de Ca, Mg, H+Al, C. org e MO são menores que 25% demonstrando que o conjunto de dados é homogêneo (Tabela 3) porém, os P e K apresentaram coeficiente de variação maior que 25%, caracterizando a heterogeneidade dos dados.

Em contrapartida, o P foi classificado como muito baixo antes da instalação do experimento, baixo no tratamento com Penergetic®-K e médio nos demais tratamentos.

A menor mobilização do solo no plantio direto leva ao acúmulo de alguns nutrientes, especialmente o P, que é menos imobilizado pelo complexo coloidal (Castro et al., 1993).

Nascente & Cobucci (2014) trabalharam com componentes de produção e produtividade de grãos de feijão em função da adubação de P e aplicação de Penergetic®-K e Penergetic®-P, observaram que a aplicação de Penergetic® independentemente da combinação com as doses de P proporcionou maiores valores de produtividade de grãos de feijão comum do que os tratamentos sem o produto. Segundo os autores, as aplicações de Penergetic® permitiram maior rendimento com menor dose de P aplicado. Corroborando o observado neste trabalho com a aplicação de Penergetic®, ocorreu um aumento na disponibilidade de P (Tabela 2) para as plantas e maior acúmulo total do nutriente no solo, possivelmente devido ao aumento da atividade microbiana.

	pH		P (Mehl)		K		Ca		Mg		H+Al	
	(CaCl ₂)		mg dm ⁻³						cmol _c dm ⁻³			
Antes da instalação	5,1	a	1,6	b	82,5	a	3,3	b	0,6	b	3,6	b
Adubação convencional	5,1	a	5,6	a	96,8	a	4,1	ab	0,9	a	5,7	a
AD + Penergetic®-K	5,1	a	3,5	ab	76,0	a	4,0	ab	0,8	ab	6,7	a
AD + Penergetic®-P	5,2	a	6,5	a	89,0	a	3,9	ab	0,8	ab	4,8	ab
AD + Penergetic®-K e P	5,4	a	5,2	ab	123,5	a	5,0	a	0,9	a	5,5	a
Teste F	2,8	ns	4,7	*	1,37	ns	3,1	*	6,4	**	7,8	**
CV(%)	3,4		39,7		33,7		18,1		13,1		12,9	

	C.org		M.O		CTC		V		Al	
		%			cmol _c dm ⁻³		%		cmol _c dm ⁻³	
Antes da instalação	1,1	b	1,9	b	7,6	b	53,0	a	0,0	a
Adubação convencional	1,8	a	3,1	a	10,9	a	47,7	a	0,0	a
AD + Penergetic®-K	1,8	a	3,0	a	10,7	a	46,6	a	0,0	a
AD + Penergetic®-P	1,6	a	2,7	a	9,7	ab	49,9	a	0,0	a
AD + Penergetic®-K e P	1,8	a	3,0	a	11,8	a	53,1	a	0,0	a
Teste F	9,9	**	9,5	**	6,8	**	2,3	ns	-	-
CV(%)	11,9		12,0		12,1		7,8		-	-

Tabela 2. Concentração de nutrientes no solo com o uso de adubação convencional (AD) e do bioativador de solo e planta Penergetic® na cultura do milho segunda safra, Anápolis-GO

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

O P apresenta menor mobilidade e retenção em formas não-lábeis nas superfícies dos óxidos de Fe e Al, presentes em quantidades expressivas nos Latossolos (Novais et al., 2007). Tecnologias que proporcionem aumento da disponibilidade de P, como o

Penergetic®, favorecem a redução do uso de adubos fosfatados.

De acordo com Souza & Lobato (2004), os teores de K foram considerados dentro da faixa média para todos os tratamentos, destaque para a aplicação de Penergetic®-K e P que apresentou acúmulo total de 123,50 mg dm⁻³. Este mesmo comportamento foi observado para o Ca e Mg no solo (Tabela 2), sendo que todos os tratamentos foram considerados dentro da faixa adequada. Foram estabelecidas relações quadráticas entre as doses do bioativador utilizado e os nutrientes avaliados no solo (Tabela 3).

Parâmetros	Equação de regressão	R ²
pH	$Y = 0,042x^2 - 0,183x + 5,236$	0,971
P	$Y = -0,375x^2 + 3,059x - 0,635$	0,571
K	$Y = 5,303x^2 - 24,39x + 108,4$	0,695
Ca	$Y = 0,041x^2 + 0,079x + 3,358$	0,666
Mg	$Y = -0,015x^2 + 0,152x + 0,468$	0,586
H+AL	$Y = -0,406x^2 + 2,745x + 1,466$	0,609
C.org	$Y = -0,084x^2 + 0,617x + 0,662$	0,643
MO	$Y = -0,137x^2 + 1,020x + 1,162$	0,640
CTC	$Y = -0,222x^2 + 2,055x + 6,358$	0,576
V	$Y = 1,522x^2 - 8,897x + 60,01$	0,933

Tabela 3. Equações de regressão para as características de fertilidade do solo avaliadas em função da aplicação de bioativador de solo e planta, Penergetic® na cultura do milho segunda safra, Anápolis-GO

Segundo Jakiené et al. (2008), o uso de Penergetic®-P ativa as células que participam do processo de metabolismo e as plantas passam a assimilar melhor os nutrientes disponíveis, o que não foi observado neste trabalho (Tabela 4), sendo que a maior absorção dos nutrientes analisados não foi destacada.

Os coeficientes de variação para os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S são menores que 25% demonstrando que o conjunto de dados desses nutrientes é homogêneo (tabela 4). A média da concentração dos macronutrientes nas folhas, se encontram abaixo do considerado adequado por Gott et al. (2014) para os nutrientes N, P e S. Sendo que no K somente o tratamento com aplicação de Penergetic®-K foi considerado na faixa adequada, sendo os demais considerados deficientes.

Já as médias das concentrações de Ca e Mg na folha foram consideradas excessivas (Gott et al., 2014), a menor concentração observada para o K, pode estar associado à função do efeito antagônico do alto teor Mg trocável no solo, de modo que esse nutriente interfere na absorção do K repercutindo na redução da concentração na folha enquanto que a concentração de Ca não é afetada, conforme constatado por

Scherer (1998).

	g Kg ⁻¹											
	N		P		K		Ca		Mg		S	
Adubação convencional	29,66	a	0,73	a	21,93	a	7,30	a	2,90	a	1,96	a
AD + Penergetic®-K	31,20	a	0,60	a	23,26	a	7,23	a	3,03	a	2,06	a
AD + Penergetic®-P	27,63	a	0,70	a	21,26	a	7,16	a	2,80	a	2,11	a
AD + Penergetic®-K e P	22,76	a	0,67	a	21,20	a	6,80	a	2,73	a	2,03	a
Teste F	1,42	ns	0,36	ns	0,58	ns	0,419	ns	0,9	ns	0,3	ns
CV(%)	19,12		24,19		9,89		8,38		8,3		9,49	

	mg Kg ⁻¹									
	Cu		Fe		Mn		Zn		B	
Adubação convencional	11,97	a	227,86	a	52,20	a	20,66	ab	8,00	a
Penergetic®-K	13,23	a	231,16	a	48,10	a	21,23	a	4,73	a
Penergetic®-P	11,77	a	209,13	a	46,36	a	14,06	c	7,16	a
Penergetic®-K e P	11,96	a	218,96	a	49,26	a	16,66	bc	8,47	a
Teste F	3,31	ns	0,45	ns	2,63	ns	12,74	**	1,6	ns
CV(%)	5,24		11,48		5,34		9,09		32,06	

Tabela 4. Concentração de macro e micronutrientes nas folhas do milho com o uso de adubação convencional (AD) e do bioativador de solo e planta Penergetic® na cultura do milho segunda safra, Anápolis-GO

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

O nível da concentração de acordo com os teores determinados por Malavolta et al. (1997) obtido para os macronutrientes, se encontram dentro da faixa considerada adequada para o N (exceto o tratamento com aplicação Penergetic®-K e P), P foi considerado deficiente, o K se encontra dentro da faixa adequada (exceto o tratamento com aplicação de Penergetic®-K que está acima da faixa considerada adequada), Ca considerado excessivo, Mg e S dentro da faixa considerada adequada. Mesmo sem significância estatística, os teores de N, Ca, Mg e S na matéria seca das folhas de milho segunda safra ajustaram-se ao modelo quadrático ($N = -1,602x^2 + 5,585x + 25,86$, $R^2 = 0,982$; $Ca = -0,072x^2 + 0,205x + 7,152$, $R^2 = 0,971$; $Mg = -0,05x^2 + 0,176x + 2,8$, $R^2 = 0,734$; $S = -0,045x^2 + 0,251x + 1,75$, $R^2 = 0,972$). Enquanto que P e K apresentaram coeficiente de determinação considerado fraco no modelo quadrático ($P = 0,025x^2 - 0,133x + 0,82$, $R^2 = 0,303$) e K ($K = -0,347x^2 + 1,318x + 21,22$, $R^2 = 0,494$).

A tabela 4 apresenta os resultados das concentrações de micronutrientes em folhas de milho com a utilização do bioativador Penergetic®. O teor de Cu na planta pode variar é normalmente inferior a 10 mg Kg⁻¹, podendo variar de 3 a 40 mg Kg⁻¹ (Pais

& Benton Jones, 1997). Para o Cu, todos os tratamentos foram considerados dentro da faixa adequada de acordo com Malavolta et al. (1997), sendo que as concentrações na folha variaram de 11,77 a 13,23 mg Kg⁻¹.

A maior concentração foliar do Cu foi observada no tratamento com o uso do Penergetic®-K, porém não ocorre diferença estatística entre os tratamentos. Importante destacar que não foram aplicados fungicidas durante o desenvolvimento da cultura, sendo que os fungicidas são importantes fornecedores de Cu ao solo, destacando-se que a absorção do Cu com o uso do Penergetic®-K. Uma das funções do Cu é a influência na fixação do N, nutriente essencial ao desenvolvimento do milho.

Para o Fe, os tratamentos com o uso de adubação convencional e com o uso de Penergetic®-K foram considerados excessivos de acordo com Malavolta et al. (1997), sendo que os valores variaram entre 227,86 e 231,16 mg Kg⁻¹ (Tabela 4). Os tratamentos com uso de Penergetic®-P e Penergetic®-K foram considerados dentro da faixa adequada de acordo com Malavolta et al. (1997), sendo que os valores variaram entre 209,13 e 218,96 mg Kg⁻¹. A maior concentração foliar do Fe foi observada no tratamento com o uso de Penergetic®-K, porém não ocorre diferença estatística entre os tratamentos.

Assim como para os demais micronutrientes, um fator muito importante para a disponibilidade no solo é o pH, isso se deve, principalmente, ao fato de para ser absorvido o pelas plantas precisa passar por uma redução de Fe⁺³ para Fe⁺², o que ocorre em ambientes mais ácidos, como o observado neste trabalho, sendo a forma reduzida mais móvel no solo. A redução de Fe está diretamente relacionada diretamente relacionada à liberação de fósforo adsorvido no solo, estando à maior absorção de Fe ligada diretamente a melhor disponibilidade de fósforo no solo para as plantas. Além de influenciar na disponibilidade do fósforo no solo, o Fe influencia na biossíntese da clorofila.

Os teores de Mn na planta, segundo Dechen et al. (1991), varia de 10 a 20 mg Kg⁻¹. Observou-se para o Mn, que os tratamentos com o uso de Penergetic®-K e com o uso de Penergetic®-P (Tabela 4) foram considerados deficientes de acordo com Malavolta et al. (1997), sendo que os valores variaram entre 46,36 e 48,10 mg Kg⁻¹. Nos tratamentos com o uso da adubação convencional e com o Penergetic®-K e P foram considerados dentro da faixa adequada de absorção de acordo com Malavolta et al. (1997), sendo que os valores variaram entre 49,26 e 52,20 mg Kg⁻¹. A maior concentração de Mn foi observada no tratamento com uso de adubação convencional, porém não ocorre diferença estatística entre os tratamentos.

Assim como para o Fe, a disponibilidade no solo de Mn é influenciada pelo baixo pH do solo, isso se deve, principalmente, ao fato de para ser absorvido na forma Mn⁺², mais móvel no solo que a forma oxidada. O Mn desempenha funções importantes na vida da planta, como à ativação de enzimas e a participação na reação de fotólise da água e na evolução do O₂ no sistema fotossintético, na formação de clorofila e na formação, multiplicação e funcionamento dos cloroplastos, além de atuar no

metabolismo do N (Melarato et al., 2002).

O Zn é o micronutriente mais estudado no Brasil, Quaggio (2000) relatou que a disponibilidade de Zn no solo é diretamente afetada pelo pH, uma vez que ao elevar o pH do solo a disponibilidade do referido micronutriente é diminuída, devido ao aumento da retenção no complexo coloidal ou à redução da solubilidade de suas fontes. Com relação aos teores de zinco nas folhas de milho, Rosolem & Franco (2000) consideram como ideais níveis entre 20 e 70 mg Kg⁻¹. Malavolta et al. (1997) colocaram que o ideal é que as folhas das plantas de milho apresentem entre 15 e 50 mg Kg⁻¹, por ocasião do florescimento.

Para o Zn, os tratamentos com o uso de adubação convencional e Penergetic®-K foram considerados dentro da faixa adequada de acordo com Malavolta et al. (1997), sendo que os valores variaram entre 20,66 e 21,23 mg Kg⁻¹. Os tratamentos com o uso de Penergetic®-P e Penergetic®-K e P os valores variaram entre 14,06 e 16,66 mg Kg⁻¹. A maior concentração de Zn foi observada com o uso de Penergetic®-K. Uma característica importante do Zn é que a sua disponibilidade é afetada pelo pH do solo, sendo mais disponível em solos mais ácidos (Tabela 4), a maior disponibilidade do Zn está associada ao menor valor de pH observado.

O B apresenta função vital na fase reprodutiva das plantas, participa de vários processos fisiológicos principalmente na síntese da parede celular. É essencial em diversas etapas do desenvolvimento da planta, sendo elemento de baixa mobilidade dentro do floema

(Malavolta et al., 1997). Para o B, todos os tratamentos foram considerados deficientes de acordo com Malavolta et al. (1997), sendo que os valores variaram entre 4,73 e 8,47 mg Kg⁻¹. A maior concentração de B foi observada no tratamento com o uso de Penergetic®-K e P, porém não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos.

Muitos estudos sobre ativação da microbiota edáfica e do processo fotossintético das plantas através da utilização de energia eletromagnética atestam que essa é uma atitude que funciona efetivamente na prática, considerando que o solo apresenta resultados satisfatórios. E é eficaz considerando que proporciona com orientação indicativa para alimentação de insetos, bem como a produtividade das culturas. A utilização da tecnologia Penergetic® não deve ser vista somente como mais uma novidade que funciona, aliás esta deve ser vista como uma necessidade para a realização de uma agricultura mais econômica, viável e ambientalmente correta.

A tabela 4 evidenciou que os conceitos apresentados no estudo demonstram que a preservação e o aumento da vida e da diversidade do sistema solo-planta consegue melhorar significativamente os resultados. A utilização da tecnologia Penergetic® é viável na medida em que permite a redução, em longo prazo, da adubação necessária com o aumento da produtividade. A maior disponibilidade dos micronutrientes indica um aumento na biomassa microbiana, o que demonstra maior colonização de micorrizas, e superioridade de número de esporosmicorrizicos.

Pelos resultados apresentados, observa-se que a tecnologia do Penergetic®

promove a bioativação do solo e dos microrganismos, aumentando a biota (conjunto de todos os seres vivos de uma região) em população, gerando equilíbrio do solo e aumentando os picos de mineralização dos micronutrientes. Assim, observa-se que a bioativação do solo e da planta, evidenciam a possibilidade de se fazer uma agricultura mais inteligente e mais lucrativa.

4 | CONCLUSÕES

Os diferentes usos do bioativador de solo e planta não diferiram entre si quanto aos componentes da fertilidade, com relação ao pH, K, Al e V do solo, mas apresentaram significância para os valores de P, Ca, Mg, H+Al, MO e CTC.

Na floração as plantas de milho, segunda safra, se encontravam nutricionalmente deficiente em N, P e S, mas excessivo o Ca e Mg. Na avaliação do K, somente a aplicação do Penergetic® K, apresentou plantas adequadamente nutridas.

A utilização do Penergetic® na cultura do milho proporcionou melhor absorção de Cu, Fe, Mn e Zn. Não apresentando respostas significativas para a absorção de B.

Sugerem-se mais pesquisas para a elucidação das propriedades observadas pelo uso do Penergetic®.

REFERÊNCIAS

- CASTRO, O. M., PRADO, H. D., SEVERO, A. C. R., CARDOSO, E. J. B. N. (1993). Evaluation of nitrogen fixation and soil microorganisms in soybean under conventional and minimal cultivation regimes. *Scientia Agricola*, 50(2), 212-219.
- CASTRO, P.R.C.; VIEIRA, E.L. Biorreguladores e bioestimulantes na cultura do milho. In: Fancelli, A.L.; Dourado Neto, D. (Ed.). *Milho: estratégias para alta produtividade*. Piracicaba: Esalq/USP/LPV, 2003. p.99-115.
- DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Coord.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Instituto de Potássio e Fosfato, 1991. p. 65-78.
- DONAGEMA, G. K., DE CAMPOS, D. B., CALDERANO, S. B., TEIXEIRA, W. G., VIANA, J. M. (2011). **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E).
- FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; SILVA, R. O. Estudo da viabilidade de disponibilização de potássio e fósforo em solos de cerrado com a utilização do penergetic. In: Congresso brasileiro de pesquisas cafeeiras, 36., 2010, Guarapari. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2010. (1 CD-ROM), 3 p.
- GOTT, R. M., DE AQUINO, L. A., DE CARVALHO, A. M., DOS SANTOS, L. P., NUNES, P. H., COELHO, B. S. (2014). Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, 18(11).
- JAKIENĖ, E., ŠLAPAKAUSKAS, V., BRAZAITYTĖ, A., SAKALAUŠKIENĖ, S., MICKEVIČIUS, V., DUCHOVSKIS, P. (2009). Effect of liquid complex fertilizers and growth regulators on photosynthesis system indices of sugar beets. **Vagos**, (85), 14-22.

LEAL, J. R., VELLOSO, A. C. X. (1973). Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 8(7), 81-88.

MALAVOLTA, E. (1997). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações/** Eurípedes Malavolta, Godofredo Cesar Vitti, Sebastião Alberto de Oliveira. —2. ed., ver. e atual. Piracicaba: Potafos.

MELARATO, M., PANOBIANCO, M., VITTI, G. C., VIEIRA, R. D. Manganês e potencial fisiológico de sementes de soja. **Ciência Rural**, p. 1069-1071, 2002.

NASCENTE, A. S., COBUCCI, T., DE SOUSA, D. M. G., DE PAIVA LIMA, D. (2014). Adubação fosfatada no sulco e foliar afetando a produtividade de grãos do feijoeiro comum. **Semina: Ciências Agrárias**, 35(3), 1231-1240.

NOVAES FILHO, J. P., GUIMARÃES COUTO, E., DE OLIVEIRA, V. A., JOHNSON, M. S., LEHMANN, J., RIHA, S. S. (2007). Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia Meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(1).

PEKARSKAS, J., ŠILEIKIENĖ, D., GRIGALAVIČIENĖ, I., KARKLELIENĖ, R., GRANSTEDT, A. (2011, November). The Effect of Organic Certified Materials on the Tendency of Yield and Quality Index of Potatoes. In **Proceedings the Fifth International Scientific Conference “Rural development** (Vol. 5, No. 2, pp. 200-205).

QUAGGIO, J. A.. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Instituto Agrônomo, 2000.

ROSOLEM, C. A.; FRANCO, G. R. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 807-814, 2000.

SALTON, J. C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., BOENI, M., CONCEIÇÃO, P. C., FABRÍCIO, A. C., ... BROCH, D. L. (2008). Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(1).

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., CUNHA, T.J.F., OLIVEIRA, J.B. 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 353 pp.

SCHERER, E. E. (1998). **Utilização de esterco de suínos como fonte de nitrogênio: bases para adubação dos sistemas milho/feijão e feijão/milho, em cultivos de sucessão**. Epagri.

SILVA, F.A.S, AZEVEDO, C.A.V. 2016. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agric. Res.** 11(39):3733-3740.

SOUZA DMG, LOBATO E 2004. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. **Cerrado: correção do solo e adubação**, Brasília, DF: Embrapa, 416 pp.

STOPES, C., LORD, E. I., PHILIPPS, L., WOODWARD, L. (2002). Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice. **Soil Use and Management**, 18(s1), 256-263.

TRENTIN, E.; SILVEIRA, A. O.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; STEFFEN, R.; CLASEN, B. E.; STEFFEN, G.P.K.; BASSACO, A. C. Efeito bioestimulador do penergetic na atividade microbiana e qualidade do solo. In: **FERBIO**, 2014. Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologias para todos, 2014.

UTILIZAÇÃO DE PSEUDO-AMOSTRAGEM NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO POLÊSINE-RS UTILIZANDO FLORESTA ALEATÓRIA

Daniely Vaz Rodrigues da Silva

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Doutoranda, Pós-Graduação em Ciência do Solo
Santa Maria – RS

Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Professor Titular, Pós-Graduação em Ciência do
Solo
Santa Maria – RS

Jéssica Rafaela da Costa

Universidade de São Paulo (USP), Doutoranda,
Pós-Graduação em Geografia Física
São Paulo – SP

Jean Michel Moura-Bueno

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
(EMBRAPA – Cocais), Pesquisador Visitante
São Luís – MA

Cândida Regina Müller

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Mestranda, Pós-Graduação em Ciência do Solo
Santa Maria – RS

Beatriz Wardzinski Barbosa

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Mestranda, Pós-Graduação em Ciência do Solo
Santa Maria – RS

RESUMO: Os solos são uma peça fundamental para o desenvolvimento da vida na Terra. Dessa maneira, existe uma crescente demanda sobre informações a respeito da distribuição dos solos

na paisagem para que se consiga manejá-lo adequadamente, garantindo segurança alimentar e ambiental. A utilização de técnicas estatísticas dentro da pedologia, aliada às suas relações com as covariáveis ambientais, possibilitam a geração de modelos preditivos e a obtenção de mapas digitais de solos. O objetivo deste trabalho é gerar um mapa digital de classes de solos e avaliar sua incerteza utilizando técnicas de mapeamento digital de solos (MDS). Dessa forma, foi gerado um MDS para o município de São João do Polêsine-RS utilizando o método estatístico Floresta Aleatória, considerando os atributos do terreno (elevação, declividade e curvatura vertical) derivados de um Modelo Digital de Elevação com resolução espacial de 30 metros. O mapa digital de classes de solo apresentou acurácia de 0,52 e índice Kappa de 0,43. O modelo preditivo gerado pelo método de Floresta Aleatória mostrou-se com potencial para predição das classes de solos na área estudada, principalmente para os solos que ocorrem em posições da paisagem bem definidas pelas covariáveis do terreno (áreas com relevo plano e forte ondulado a montanhoso). Áreas com relevo suave ondulado confundiram o modelo preditivo, onde foi observado as maiores incertezas na predição. Entretanto, mesmo com essa adversidade, pôde-se obter um índice de acurácia considerado como bom.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem espacial. Pseudo-amostragem. Pedologia quantitativa. Incerteza.

ABSTRACT: Soils are a fundamental piece for the development of life on Earth. Therefore, there is a growing demand for information on the distribution of soils in the landscape so it can be managed properly, ensuring food and environmental security. The use of statistical techniques in pedology, allied to its relations with environmental covariates, allows the generation of predictive models and the creation of digital soil maps. The objective of this work is to generate a digital map of soil classes and evaluate their uncertainty using digital soil mapping (DSM) techniques. Thus, a DSM was generated for the city of São João do Polêsine - RS using the Random Forest statistical method, considering the attributes of the terrain (elevation, slope and vertical curvature) derived from a Digital Elevation Model with spatial resolution of 30 meters. The digital map of soil classes showed an accuracy of 0.52 and a Kappa index of 0.43. The predictive model generated by the Random Forest method showed a potential for prediction of soil classes in the studied area, mainly for the soils that occur in well-defined landscape positions by the covariates of the terrain (areas with plain relief and strong undulating to hilly). Smooth corrugated areas confounded the predictive model, where were observed the greatest uncertainties in prediction. However, even with this adversity, it was possible to obtain an accuracy index considered as good.

KEYWORDS: Spatial modeling. Pseudo-sampling. Quantitative pedology. Uncertainty.

1 | INTRODUÇÃO

O solo é fundamental para o desenvolvimento da vida. Atualmente, existe uma crescente demanda sobre informações a respeito da distribuição dos solos na paisagem, a fim de proporcionar seu adequado manejo para garantir a segurança alimentar e ambiental (DALMOLIN & TEN CATEN, 2015). A avaliação adequada dos recursos do solo torna-se importante para manter o seu uso racional e correto, como também o desenvolvimento adequado das comunidades que possuem a agricultura como principal fonte econômica. De acordo com Santos (2017), 140 milhões de hectares de terras brasileiras estão degradadas, o que corresponde a 16,5% do território nacional. Portanto, a demanda por conhecer os solos em escalas mais detalhadas encontra-se cada vez maior, para que se alcance a compressão de suas potencialidades e fragilidades. A utilização de geotecnologias aliadas a modelos estatísticos/matemáticos dentro da pedologia foi o caminho para a extrapolação das ideias de Hans Jenny a respeito dos fatores de formação já consagrados na Ciência do Solo, surgindo o Mapeamento Digital de Solos (MCBRATNEY et al., 2003).

O conceito clássico de MDS está descrito em Lagacherie e McBratney (2006) como: “criação e população de sistemas espaciais de informação de solos, através do uso de modelos numéricos para a inferência das variações espaciais e temporais dos tipos de solos e de suas propriedades, a partir de observações e conhecimento

dos solos e de variáveis ambientais correlacionadas”. No MDS as informações obtidas a partir de dados associados as variáveis ambientais são empregadas em modelos que permitem a geração de mapas de solos com as incertezas e erros associados (MINASNY et al., 2008; BRUS et al., 2011; TEN CATEN et al., 2012).

De acordo com Bishop et al. (2015) e com McBratney et al. (2003), a ideia de mapeamento digital de solos torna-se mais consistente na pedologia, chegando a proposição do termo pedometria. Por pedometria entende-se uma área da ciência do solo baseada em modelos numéricos/estatísticos, que busca elucidar as relações entre variáveis ambientais e o solo, possibilitando a geração de mapa preditivo (SCULL et al., 2003; TEN CATEN et al., 2012). Os mapas da distribuição espacial do solo podem ter sua qualidade atestada com a utilização de técnicas matemáticas e com o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para tanto, faz-se o uso de algumas ferramentas, destacando a geoinformação e a estatística (Modelos Lineares Generalizados, Redes Neurais, Árvores de Decisão, Regressões, Análise de Componentes Principais), bem como informações prévias sobre os solos da área de estudo (BRUS et al., 2011).

No entanto, mostra-se importante a realização de pesquisas para a avaliação da qualidade do mapa gerado, a qual pode ser testada com informações obtidas no campo (TEN CATEN, 2011) ou fazendo comparação com mapas legados (TEN CATEN et al., 2012; GIASSON et al. 2013);

Pode-se realizar o exercício de comparação do mapa digital com mapeamentos não digitais da área. Assim, existe a potencialidade de avaliação dos produtos cartográficos gerado pelo MDS (Mapeamento Digital do Solo) através do índice Kappa – onde quanto mais próximo de 100%, mais confiável os resultados.

Devido a existência de diversos métodos estatísticos, é preciso que o pesquisador que trabalha com MDS tenha clareza sobre as limitações no uso das técnicas matemáticas, para que assim, consiga discernir sobre a melhor delas e predizer os atributos ou classe de solos de sua área de estudo. Para a escolha da melhor técnica estatística, torna-se importante considerar os materiais disponíveis e as características do local.

O método estatístico que tem demonstrado bons resultados na predição de classes ou atributos do solo tem sido a árvore de decisão, mais especificamente, a Floresta Aleatória, a qual tem sido citada como de alta eficiência (DHARUMARAJAN et al., 2017). Deste modo, o objetivo do trabalho foi gerar um mapa de classes de solos e avaliar sua incerteza utilizando técnicas de mapeamento digital.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a área no município de São João do Polêsine, localizado na região Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A

área tem aproximadamente 90 km², onde é drenada pelo Rio Jacuí e dividida em duas sub-bacias, a do Rio Soturno e a do Rio Vacacaí Mirim. O relevo que abrange a maior parte do município é suave ondulado, onde as altitudes são inferiores a 200 metros. Existem também áreas de encosta com altitudes em torno de 400 metros, onde o relevo é forte ondulado a montanhoso (KLAMT et al., 1997). Trabalho de Klamt et al. (1997) identificou nessa região a ocorrência predominante das seguintes classes de solos: Planossolos, Gleissolos, Argissolos, Cambissolos, Neossolos e Nitossolos.

Foi gerado um MDS considerando atributos do terreno (elevação, declividade e curvatura vertical) derivados do Modelo Digital de Elevação (MDE) TOPODATA (VALERIANO & ROSSETTI, 2011), com resolução espacial de 30 metros, disponível no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>).

No ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) do *software* Quantum GIS 2.18.14, foram gerados pseudo-pontos para serem utilizados no treinamento do modelo de predição. Utilizou-se uma técnica de pseudo-amostragem digital, na qual foram gerados 400 pontos aleatórios dentro do limite do município. Esses pontos foram sobrepostos em imagem do Google Earth, mapas de elevação, declividade e curvatura vertical. Considerando a relação solo-paisagem identificada previamente no campo e o conhecimento especialista (*expert knowledge*), foi definido para cada ponto de modo empírico a classe de solo até o segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2018). Para a validação do mapa digital de classes de solos gerado, utilizou-se 30 pontos coletados a campo de forma aleatória, com a identificação da classe de solo. Para a validação das classes de solo foi utilizado as covariáveis do terreno elevação, declividade e curvatura vertical, derivadas do MDE TOPODATA. O método estatístico utilizado para gerar o modelo de predição foi o método da Floresta Aleatória – FA (*Random Forest - RF*). Os parâmetros usados para avaliar a qualidade da predição e do mapa de solos foram a Acurácia geral e Índice Kappa. Além disso, foi gerado o mapa de incerteza da predição das classes de solo, o qual foi representado pelo índice de confusão. Esse índice é uma medida da confusão que o modelo preditivo faz entre as duas classes de solos mais prováveis. O índice varia entre 0 e 1, onde 1 significa máxima confusão e 0 mínima confusão.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apartir dos resultados encontrados, obteve-se um índice Kappa de 0,43 e acurácia de 0,52 (Tabela 1). O modelo gerado pelo método de Floresta Aleatória mostrou-se com potencial para a identificação das classes de solo, principalmente para os solos que ocorrem em posições da paisagem bem definidas pelas covariáveis do terreno (áreas de relevo plano, forte ondulado e montanhoso). Áreas de relevo suave ondulado confundiram o modelo estatístico, entretanto, mesmo com essa adversidade, pôde-

se obter um índice considerado como bom, posto que a análise de Kappa reflete a apreciação da precisão temática, sendo abordado em seu cálculo todos os elementos da matriz de confusão. Segundo Fonseca (2000), o valor de índice Kappa entre $0,4 < K \leq 0,6$ considera-se como uma boa classificação para se analisar o desempenho do método.

Em ambientes com grandes mudanças do relevo, ao contrário do que ocorre em áreas planas, há muita variação nos tipos de solos. Assim, gerando estimativas de incerteza maiores (GRIMM et al., 2008). Para melhor resultado na acurácia do mapa, do presente estudo, poderá ser alcançado utilizando mais covariáveis do terreno, com o objetivo de caracterizar melhor a paisagem e sua relação com os solos. Isso acarretaria no aumento do poder de discretização das classes de solo pelo modelo de predição. Além disso, aumentar o número de pontos de amostragem nas áreas com maior incerteza, proporcionará maior treinamento do modelo de predição e consequentemente aumentaria a acurácia das predições.

ITEM	DESCRIÇÃO
Classes de solos preditas	CX; GX; PBAC; PV; PVA; RL; SX; NV
Validação-Cruzada	Acurácia=0,52; Índice Kappa=0,43
Covariáveis ambientais	Elevação; Declividade; Curvatura <u>vertical</u>

Tabela 1. Resumo do resultado das predições.

CX: Cambissolo Háplico; GX: Gleissolo Háplico; PBAC: Argissolo Bruno-Acinzentado; PV: Argissolo Vermelho; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; R: Neossolo Litólico e Regolítico; SX: Planossolo Háplico; NV: Nitossolo Vermelho.

Em relação ao mapa de distribuição das classes de solo (Figura 1), gerado pelo modelo de FA, foi constatado que a distribuição encontrada se assemelhou ao mapa de Klamt et al. (1997). Assim, mostrando a confiabilidade do modelo de predição. A estratégia de pseudo-amostragem de pontos com base no estudo e conhecimento da relação solo-paisagem em nível de campo, pode otimizar a amostragem e aumentar o número de pontos para uso no treinamento de modelos de predição do MDS. No entanto, essa estratégia deve ser realizada com base no conhecimento especialista (*expert knowledge*), com conferência de campo de alguns pontos e, principalmente, utilizar para a validação do modelo pontos obtidos em nível de campo.

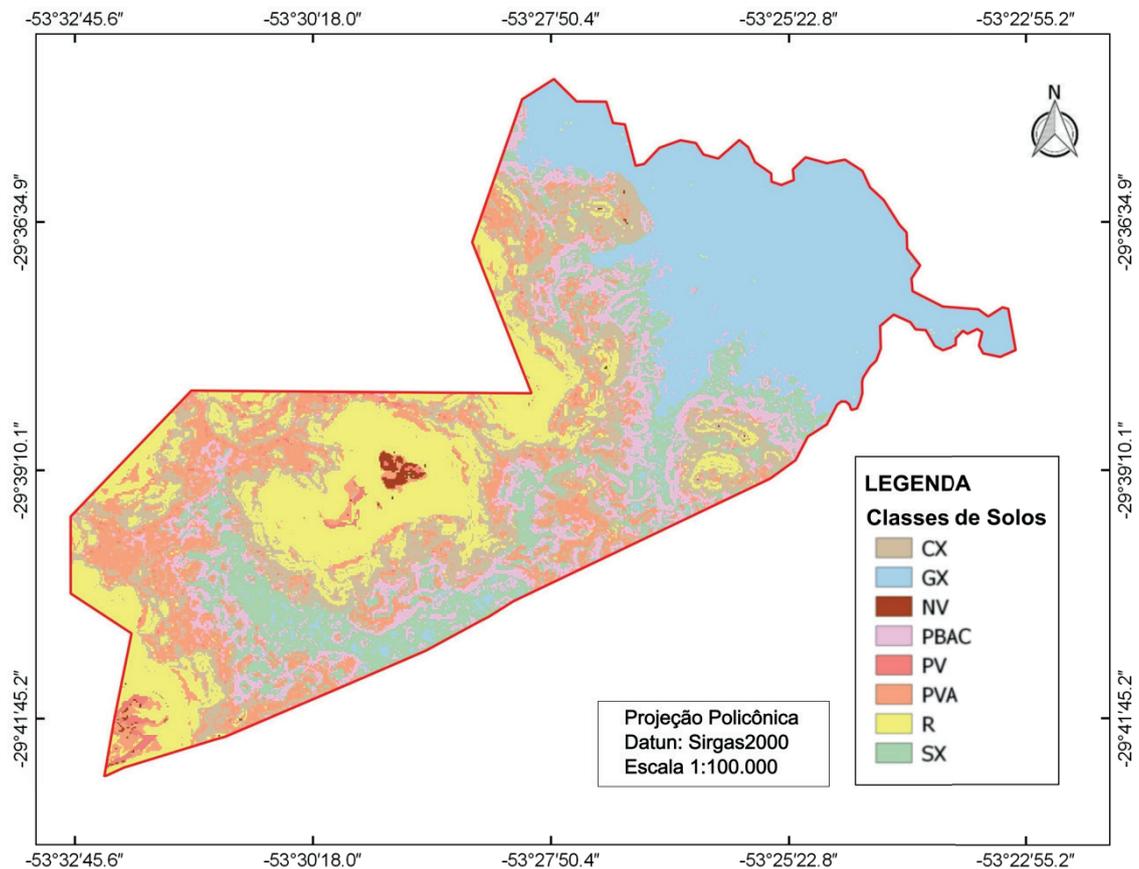


Figura 1. Mapa digital de classes de solo no município de São João do Polêsine. CX: Cambissolo Háplico; GX: Gleissolo Háplico; NV: Nitossolo Vermelho; PBAC: Argissolo Bruno-Acinzentado; PV: Argissolo Vermelho; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; R: Neossolo Litólico e Regolítico; SX: Planossolo Háplico.

O mapa de distribuição de incerteza da predição das classes de solo (Figura 2), mostra uma expressiva área na qual o modelo estatístico se apresenta confuso (áreas de cor azul). Nessas áreas, foi observado no campo, que ocorrem diferentes classes de Argissolos, os quais se diferenciam no segundo nível categórico pela cor. Assim, as covariáveis utilizadas na construção do modelo de predição não foram capazes de discriminar essas classes. É esperado, que ao aumentar o número de pontos de treinamento nessas áreas de maior incerteza, o modelo consiga maior acurácia. Da mesma forma, o mapa de incertezas apresenta locais da paisagem onde deve-se intensificar a amostragem e/ou utilizar outras covariáveis do terreno para alcançar maior poder de discretização das classes pelo modelo de predição.

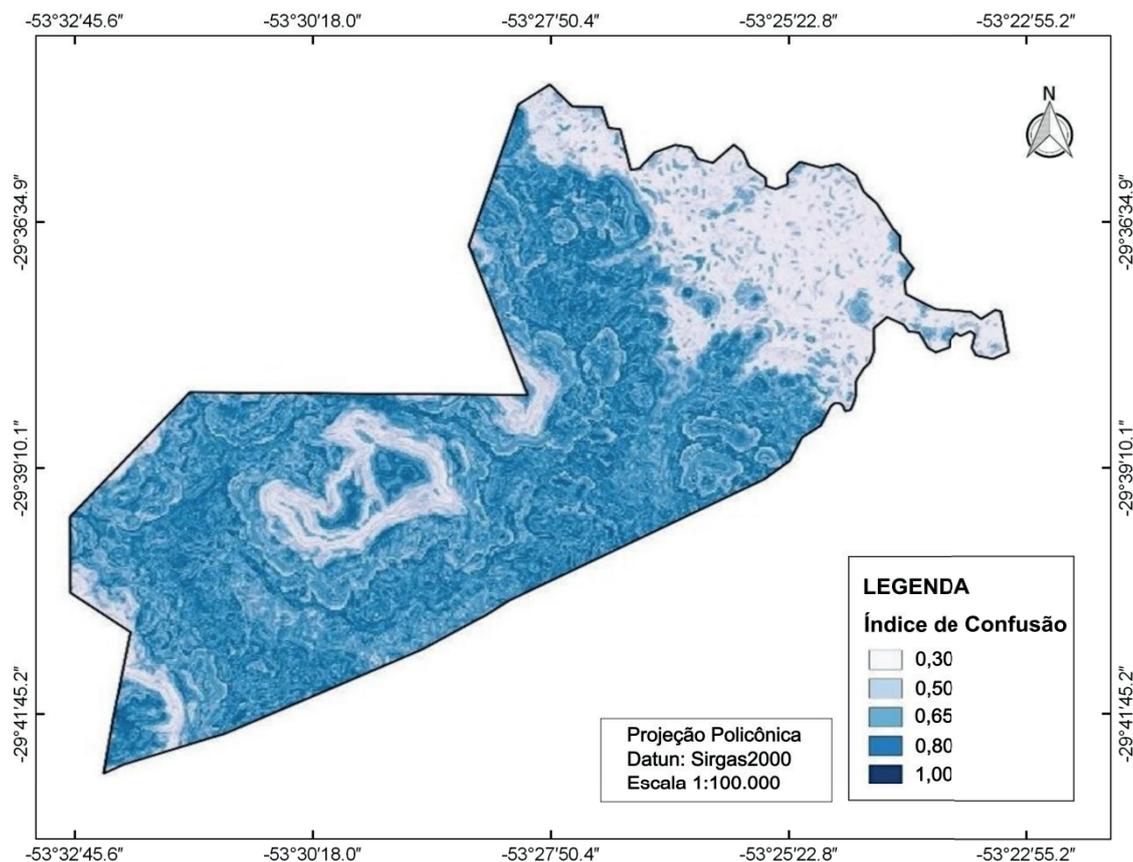


Figura 2. Mapa de incerteza (Índice de Confusão) na predição de classes de solos.

4 | CONCLUSÕES

O modelo de predição gerado pelo método estatístico Floresta Aleatória apresentou acurácia satisfatória na predição das classes de solos no município de São João do Polêsine.

As maiores incertezas nas predições do modelo ocorreram em áreas de relevo suave ondulado, onde predominam diferentes classes de Argissolos.

O método de pseudo-amostragem de pontos para uso no Mapeamento Digital de Solos apresentou potencial para geração de mapas de solos, quando conhecida e estudada a relação solo-paisagem em nível de campo.

REFERÊNCIAS

BISHOP, T. F. A.; HORTA, A.; KARUNARATNE, S. B. **Validation of digital soil maps at different spatial supports**. *Geoderma*, p. 238–249, 2015. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.11.026

BRUS, D.J.; KEMPEN, B.; HEUVELINK, G. B. M. **Sampling for validation of digital soil maps**. *Eur J Soil Sci*, v. 62, n. 3, p. 394–407, 2011.

DALMOLIN, R. S. D.; TEN CATEN, A. **Mapeamento Digital: nova abordagem em levantamento de solos**. *Invest Agr*, v. 17, p. 77-86, 2015. doi: 10.18004/investig.agrar.2015.diciembre.77-86.

DHARUMARAJAN, S.; HEGDE, R.; SINGH, S. K. **Spatial prediction of major soil properties**

using Random Forest techniques - A case study in semi-arid tropics of South India. Geoderma Regional, v. 10, p. 154–162, 2017. doi: 10.1016/j.geodrs.2017.07.005

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

GIASSON, E.; HARTEMINK, A. E.; TORNQUIST, C. G.; TESKE, R.; BAGATINI, T. **Avaliação de cinco algoritmos de árvores de decisão e três tipos de modelos digitais de elevação para mapeamento digital de solos a nível semidetalhado na Bacia do Lageado.** Santa Maria, RS, Brasil. Ciência Rural (UFSM. Impresso), v. 43, p. 1967-1973, 2013.

GRIMM, R.; BEHRENS, T.; MÄRKER, M.; ELSENBEER, H. **Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island - Digital soil mapping using Random Forests analysis.** Geoderma, v. 146, p. 102-113, 2008. doi: 10.1016/J.geoderma.2008.05.008

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B. **Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping.** LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B.; VOLTZ, M. (Eds.). Digital soil mapping - an introductory perspective. Amsterdam: Elsevier, 2006. p.3-22

KLAMT, E.; DALMOLIN, R. S. D.; CABRAL, D. R. **Solos do Município de São João do Polêsine.** Santa Maria: Depto.de Solos/CCR/UFSM, 1997.

MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. **On digital soil mapping.** Geoderma, v. 117, n. 3-52, 2003. doi: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. **Regression rules as a tool for predicting soil properties from infrared reflectance spectroscopy.** Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, v. 94, n. 1, p. 72–79, 15 nov. 2008.

SANTOS, E. **Programa fará mapeamento completo dos solos brasileiros** [internet]. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2016. Acesso em: 06 fev. 2018. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/solos/busca-de-noticias/-noticia/17550684/programa-fara-mapeamento-completo-dos-solos-brasileiros>>.

SCULL, P.; FRANKLIN, J.; CHADWICK, A. O.; MCARTHUR, D. **Predictive soil mapping: a review.** Prog Phys Geogr, v. 27, p. 171-197, 2003. doi: 10.1191/0309133303pp366ra

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 21-26 abr. 2007; Florianópolis. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2007. p. 5755-5762.

TEN CATEN, A. et al. **Mapeamento digital de classes de solos:** características da abordagem brasileira. Cienc. Rural, v. 41, n. 5, p. 812-816, 2012.

TEN CATEN, A. **Mapeamento digital de solos:** metodologias para atender a demanda por informação espacial em solos. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. 106 p.

VALERIANO, M. M.; ROSSETI, D. F. **Topodata:** Brazilian full coverage refinement of SRTM data. Applied Geography, Amsterdam, v. 32, n. 2, p. 300-309, 2011.

VARIABILIDADE E CORRELAÇÕES ESPACIAIS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE NEOSSOLOS, SOB CULTIVO MÍNIMO, NUMA CATENA DO PAMPA

Jéssica Santi Boff

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Julio César Wincher Soares

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Claiton Ruviaro

URI – Campus Santiago-RS, Laboratório de Sólос – URI – Campus Santiago-RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Kauã Ereno Fumaco

URI – Campus Santiago-RS, Laboratório de Sólос – URI – Campus Santiago-RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Daniel Nunes Krum

URI – Campus Santiago-RS, Laboratório de Sólос – URI – Campus Santiago-RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Pedro Maurício Santos dos Santos

URI – Campus Santiago-RS, Laboratório de Sólос – URI – Campus Santiago-RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Higor Machado de Freitas

URI – Campus Santiago-RS, Laboratório de Sólос – URI – Campus Santiago-RS, Avenida Batista

Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Lucas Nascimento Brum

URI – Campus Santiago-RS, Laboratório de Sólос – URI – Campus Santiago-RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Vitória Silva Coimbra

URI – Campus Santiago-RS, Laboratório de Sólос – URI – Campus Santiago-RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

RESUMO: As propriedades químicas do solo possuem relações diretas com os processos pedogenéticos, formas de manejo e práticas ligadas a conservação do solo. Este trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade e as relações espaciais das propriedades químicas de Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, numa catena do Pampa. Para o estudo da fertilidade do solo, foi realizado um levantamento pedométrico, utilizando 52 pontos de prospecção, numa malha fixa, com intervalos regulares de 15 m, na profundidade de 0,0 – 0,2 m, perfazendo uma área de 1,17 ha. Os resultados das diferentes variáveis foram submetidos a análise estatística descritiva, de correlação Pearson e de geoestatística. A densidade amostral mostrou-se de grande importância para as definições das variáveis

com exatidão. Foram observadas correlações entre as diferentes propriedades químicas ligadas a fertilidade dos Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, na catena. Assim, as propriedades químicas dos Neossolos apresentaram relações espaciais em sua distribuição. Por fim, os Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, em geral, apresentaram boa fertilidade química, demandando o aporte de corretivos e a suplementação de fósforo.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilidade do solo. Manejo e conservação do solo. Geoestatística. Agricultura Digital

ABSTRACT: The chemical properties of the soil have direct relations with the pedogenetic processes, management forms and practices related to soil conservation. This work aims to evaluate the variability and spatial relationships of the chemical properties of Neossolos cultivated with soybean, under minimum cultivation, in a catena of the Pampa Gaucho. For the study of soil fertility, a pedometer survey was carried out, using 52 prospecting points, in a fixed mesh, with regular intervals of 15 m, in the depth of 0.0 - 0.2 m, for an area of 1.17 there is. The results of the different variables were submitted to descriptive statistical analysis, Pearson correlation and geostatistics. The sample density was of great importance for the definitions of the variables with accuracy. Correlations were observed between the different chemical properties related to the fertility of the Neossolos cultivated with soybean, under minimum cultivation, in the catena. Thus, the chemical properties of the Neosols presented spatial relationships in their distribution. Finally, the Neosols cultivated with soybean, under minimum cultivation, in general, presented good chemical fertility, demanding the supply of correctives and the supplementation of phosphorus.

Keywords: Soil fertility. Management and conservation of soil. Geostatistics. Digital Agriculture

1 | INTRODUÇÃO

O bioma Pampa compreende uma grande área natural que aos poucos vem sendo ocupada e transformada pela presença humana. A porção do Pampa no Rio Grande do Sul já apresenta áreas intensamente ocupadas, por presença de usos diversos, os quais vêm transformando essa região num grande agroecossistema (DUTRA DA SILVA, 2008).

Os Neossolos desenvolvidos no bioma Pampa, são solos jovens, com profundidades diversas e diferentes materiais de origem. Na estepe gramíneo-lenhosa e nas florestas de galeria do Pampa são encontrados Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, que exibem horizonte A ou hístico desenvolvidos sobre horizonte C, ou camadas Cr e R, sem a presença de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2013). Conforme Pedron (2007), esses solos apresentam potencial restritivo de uso, devido à presença de contato lítico (EMBRAPA, 2006) ou contato saprolítico (Pedron et al., 2009), muito próximo da superfície.

A demanda pelo desenvolvimento de novas tecnologias para uma agricultura sustentável e eficiente, fez com que a agricultura digital se tornasse importante para a gestão das propriedades; tendo como propósito o manejo da variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção, que resulta em benefícios ambientais e ou econômicos (TAYLOR et al., 2003).

As propriedades químicas do solo apresentam variabilidade espacial, a qual tem a sua relação direta com o processo de formação e desenvolvimento deste solo, aliados a forma de manejo e práticas agrícolas ligadas a conservação do solo (CASTRIGNANÒ; STELLUTI, 1999).

O solo desempenha a função de tornar disponíveis os nutrientes para as plantas, sendo que os mesmos irão expressar a qualidade química do solo. A fertilidade química está diretamente ligada ao solo conter os nutrientes essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das culturas, de forma que estejam disponíveis em quantidades necessárias. Tal disponibilidade está ligada as propriedades físicas, biológicas e aos fatores climáticos favoráveis (LOPES; GUILHERME, 2007).

Dentre os fatores que afetam a baixa fertilidade dos solos a alta acidez, acompanhada da toxidez por Alumínio (Al) estão entre os principais; em casos mais específicos de regiões tropicais e subtropicais úmidas e sub-úmidas, os solos apresentam a capacidade muito alta de fixação de fósforo (P) (WOOD et al., 2001). No Brasil, a toxidez de alumínio (Al), afeta a maioria dos solos, ultrapassando 63% dos nossos solos, 25% dos solos brasileiros, tem a capacidade de fixação de fósforo altas, estas são algumas das causas naturais da baixa fertilidade dos nossos solos (BOT et al., 2000).

A acidez ativa dos solos é explicada pela quantidade de hidrogênio (H^+), dissociado ou disponível da solução do solo, na forma de H^+ , os valores para $[H^+]$, são expressos pelo pH, e estes valores podem interferir na disponibilidade de nutrientes as culturas. Já a acidez potencial ($H+Al$) abrange, $H + Al$ ($H+$ trocável, H de ligações covalentes que é dissociado com aumento do pH, Al^{3+} trocável e em formas de Al que podem ser parcialmente hidrolisadas $AlOH^{2+}$ e $Al(OH)^{2+}$) (NOVAIS; MELLO, 2007).

A matéria orgânica do solo é definida como os materiais orgânicos da fração do solo, materiais estes que podem ser de origem de restos vegetais ou animais, compostos solúveis, resíduos microbianos, e a matéria orgânica unida fortemente aos argilominerais do solo (STEVENSON, 1994).

A capacidade de troca de cátions (CTC), propriedade muito importante para a nutrição de plantas, expressa os valores de cargas negativas elétricas dos colóides do solo, cargas essas que tem por função apreensão dos cátions do solo, os quais ficarão disponíveis para as raízes das plantas, facilitando a disponibilidade as plantas (RAIJ, 1969).

A partir do princípio que os Neossolos podem ser solos férteis e produtivos na dependência de suas propriedades químicas, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a dependência, a variabilidade e as relações espaciais das propriedades

químicas de Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, numa catena do Pampa.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santiago, com coordenadas centrais UTM 705.589 E 6.769.112 S (SIRGAS 2000, ZONA 21 S), numa encosta de 1,17 ha.

Conforme a classificação de Köppen (1931), o clima dominante é o Cfa, subtropical úmido, totalizando uma precipitação anual de 1.919 mm ao longo do ano, com temperatura média anual de 17,9 °C (MORENO, 1961). O relevo apresenta feições de suave ondulado a ondulado, com altitude média de 394 metro.

A encosta em estudo é uma catena com Neossolos Litólicos Distróficos e Neossolos Regolíticos Distróficos (EMBRAPA, 2013), onde a cultura desenvolvida foi a soja em cultivo mínimo.

O procedimento amostral contou com a coleta de amostras em 52 pontos de prospecções, numa malha com intervalos regulares de 15 m, na profundidade de 0,0 – 0,2 m. Para locação dos pontos de prospecção utilizou-se um receptor GNSS (Global navigation Satellite System), com dupla frequência (L1/L2) e disponibilidade de posicionamento em tempo real (Real Time Kinematic - RTK), adotando o Datum Horizontal Sirgas 2000.

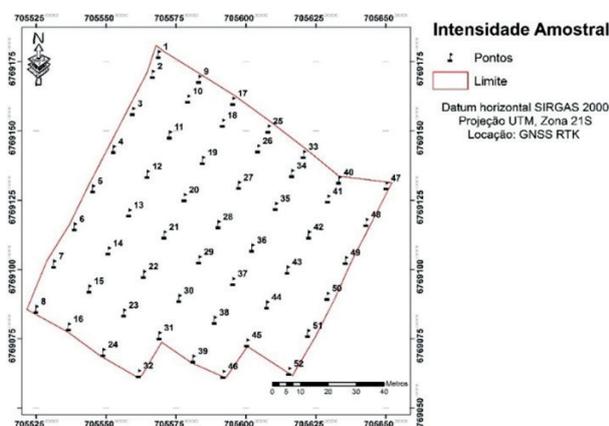


Figura 1. Mapa amostral da distribuição espacial dos pontos de prospecção.

A partir do grid de pontos definidos, foram coletadas amostras pontuais deformadas, as quais foram utilizadas para determinar as seguintes propriedades químicas do solo: cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), fósforo (P), pH do solo em água (pH H₂O), matéria orgânica (MO) e soma de bases (SB), conforme Donagemma et al. (2011). Em seguida, foi realizado o cálculo da capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{efetiva}), da capacidade de troca catiônica em pH_{7,0} (CTC_{pH7}), da saturação por bases (V%) e da saturação por alumínio (m%).

A variabilidade dos dados foi testada pela análise estatística descritiva e por técnicas de geoestatística. O Coeficiente de Variação (CV) foi classificado conforme Warrick e Nielsen (1980), considerando variabilidade baixa ($CV < 12\%$); média ($12\% < CV < 60\%$); e alta ($CV > 60\%$). A normalidade dos dados foi testada por Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$). Em seguida, foi realizada a análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$).

A dependência espacial das propriedades químicas foi avaliada pela análise geoestatística. Foram realizados ajustes de semivariogramas teóricos considerando a Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS). Os modelos que oferecem dados acurados precisam obedecer a premissa de que os valores de M e MS devem estar próximos de zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS estejam próximos de 1 (ESRI, 2016). Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram determinados os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance.

Para as análises geoestatística utilizou-se o software do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® 10.5.1 (ArcToolbox → Geostatistical Analyst → Assistente de geoestatística → Geoestatistical Methods → Kriging → Kriging type → Ordinary).

O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar.

Em seguida, efetuou-se no ArcGIS® 10.5.1. a geração de mapas temáticos das propriedades estudadas.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva revelou que apenas os dados de acidez ativa (pH H₂O) não seguiram a distribuição normal, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$) (TABELA 1).

Propriedades químicas	Nº	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	CV (%)	K-S	Sig
pHH ₂ O	52	4,30	6,00	5,23	0,32	6,04	1,540	0,017
H+Al (cmol/dm ⁻³)	52	1,95	17,30	6,57	3,35	50,99	0,827	0,501
Al (cmol/dm ⁻³)	52	0,20	4,70	1,76	0,93	52,79	1,036	0,234
m (%)	52	2,05	41,11	15,70	8,54	54,42	0,896	0,399
K (cmol/dm ⁻³)	52	0,43	1,24	0,89	0,17	19,56	0,713	0,689
Ca (cmol/dm ⁻³)	52	3,00	7,30	5,43	1,00	18,49	0,895	0,400

Mg (cmol/dm ⁻³)	52	0,90	6,20	3,22	1,27	39,50	0,581	0,889
SB (cmol/dm ⁻³)	52	6,06	14,41	9,53	1,63	17,14	0,609	0,852
V (%)	52	33,05	87,31	61,25	12,36	20,17	0,543	0,929
CTC _{efet} (cmol/dm ⁻³)	52	9,02	16,41	11,29	1,42	12,56	0,578	0,892
CTC _{pH7,0} (cmol/dm ⁻³)	52	9,15	25,84	16,10	3,70	22,96	0,572	0,899
P (mg dm ⁻³)	52	2,80	7,60	4,80	1,21	25,24	0,814	0,522
MO (%)	52	3,00	5,30	4,05	0,43	10,60	0,644	0,802

Tabela 1 - Estatística descritiva para as propriedades químicas de Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, numa catena do Pampa.

pH H₂O: Acidez ativa. H+Al: Acidez potencial. Al: Alumínio. MO: Matéria orgânica. K: Potássio. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. SB: Soma de bases. CTC_{efet}: Capacidade de troca de cátions efetiva. Capacidade de troca de a pH 7. V%: Saturação por bases. m%: Saturação por Alumínio. P: Fosforo CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância (p<0,05).

Conforme o CQFSRS (2004), o pH H₂O foi classificado como baixo, entre 5,1 e 5,4 (TABELA 1).

Considerando os valores de H + Al descritos na Tabela 1, pode-se inferir que, a acidez potencial é boa, conforme a classificação proposta por Alvarez et al. (1999). De acordo com Sobral et. al., (2015), o Al³⁺ foi classificado como alto com valores superiores a 1,0 cmol/dm⁻³. Quanto a m% teve classificação baixa, entre 15,1 e 30,0% (ALVAREZ et al. 1999). (TABELA 1).

Segundo a EMBRAPA (2015), para o K, Ca e Mg, os valores foram classificados como altos (<60 mg dm⁻³, >3,0; >1,0 cmol/dm⁻³ e > 1,0 cmol/dm⁻³), respectivamente (TABELA 1).

Os resultados encontrados para a SB e V% foi classificado como muito bom (>6,00 cmol/dm⁻³) e bom (60,1 – 80,0 %), conforme Alvarez et al. (1999) (TABELA 1).

Para a CTC_{efetiva} e CTC_{pH7} os valores foram classificados como alto de >4,0 cmol/dm⁻³, e médio, entre 5,0 e 15,0 cmol/dm⁻³, nesta ordem, corroborando com a EMBRAPA (2015) (TABELA 1).

Conforme CQFSRS (2004) o P teve classificação muito baixo (<5,0 mg dm⁻³) sendo pouco disponível para as culturas. Finalmente o teor de MO obteve classificação média (2,6 - 5,0 %) (TABELA 1).

Os valores do coeficiente de variação foram classificados segundo Warrick e Nielson (1980), para a pH H₂O e MO, observou-se baixa variação; já a H+Al, Al, K, Mg e Ca foi de média variação. O mesmo comportamento foi observado para os dados de SB, CTC_{efetiva}, CTC_{pH7}, V%, m% e P. (Tabela 1).

As propriedades químicas dos solos estudados apresentaram correlações, conforme a tabela 2. Em relação a acidez ativa, observou-se que, quanto menor os valores de pH H₂O, maior será acidez potencial, com maior disponibilidade de alumínio toxico para a cultura, desta maneira, maior será a saturação por alumínio na CTC_{efetiva}.

Os solos que apresentam quantidades altas de Al^{3+} , adjuntos ou não ao Mn^{2+} , com alta acidez, podem proporcionar limitações ao crescimento normal e também ao desenvolvimento radicular das plantas (SOUZA et al., 2007).

A acidez potencial correlacionou-se com a $CTC_{efetiva}$, demonstrando que quanto maiores os valores de $H+Al$, maior será a $CTC_{efetiva}$; assim, quanto maior acidez potencial, menor será saturação por bases. Segundo Ronquim (2010), um índice de saturação por bases baixo significa que há pequenas quantidades de cátions, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , saturando as cargas negativas dos colóides, e que a maioria delas está sendo neutralizada por H^+ e Al^{3+} . Desta maneira, pode-se inferir que quanto maior o valor de pH_{H_2O} , maior será soma e a saturação por bases. Então, sendo assim, quanto menor o pH_{H_2O} , maiores os teores de alumínio, e menores serão os valores de cálcio, potássio e magnésio; estabelecendo uma relação antagônica entre a saturação por alumínio e os teores de bases (TABELA 2).

Conforme a tabela 2, incrementos nos teores de MO ocasionam a redução da atividade do Al tóxico, e este processo é descrito por Mancin (2010), que relata que o aumento da MO do solo proporciona uma complexação do alumínio, modificando os teores de Al trocável e, especialmente, de Al não trocável na solução do solo.

Os teores de K têm influência direta na $CTC_{efetiva}$, ou seja, quanto maior a quantidade de K maior serão os valores para a $CTC_{efetiva}$ e conseqüentemente, maior a soma de bases. Para a CTC_{pH7} há uma maior contribuição do Al e do H^+ , quando comparado com as bases (Tabela 2), Novais et al. (2007), explicam que o Al^{3+} , sendo trivalente é mais fortemente retido do que os cátions divalentes.

A análise de correlação demonstrou que incrementos nos teores de cálcio, aumentam a $CTC_{efetiva}$ e a saturação por bases, reduzindo a saturação por alumínio. O alumínio trocável reduz a $CTC_{efetiva}$ amortizando a disponibilidade de cátions como potássio, magnésio e cálcio. Sendo assim, explica-se a importância da prática de calagem, que aumenta o pH do solo e neutraliza o alumínio, com posterior disponibilização de nutrientes na solução do solo (SPOSITO, 2008). Assim, com o incremento do Mg, também ocorre o incremento na $CTC_{efetiva}$ e na CTC_{pH7} . Porém, para a $CTC_{efetiva}$ há maior importância do cálcio, observamos também que, quanto maior o teor de magnésio, maior será soma de bases e menor será a saturação por alumínio. Conforme Scipioni et al. (2010), estes processos estão diretamente relacionados ao desenvolvimento do solo, apresentando maiores teores de cálcio, em consequência, maior relação $Ca:Mg$ e maior capacidade de troca de cátions (CTC).

Prop.	pH H ₂ O	H+Al	MO	K	P	Al	Ca	Mg	CTC _{efetiva}	CTC _{pH7}	SB	V	m
pH H ₂ O	1	-0,42*	-0,05	-0,05	-0,17	-0,42**	-0,47**	0,11	0,15	-0,21	0,37**	0,44**	-0,46**
H+Al		1	0,37**	0,10	0,02	-0,08	-0,11	0,05	-0,077	0,89**	-0,02	-0,94**	-0,08
MO			1	0,14	-0,05	-0,28**	-0,06	-0,06	-0,26	0,31*	-0,06	-0,38**	-0,19
K				1	0,04	0,20	0,17	0,18	0,55**	0,25	0,36**	-0,01	0,1
P					1	0,01	-0,00	0,15	0,14	0,07	0,12	0,03	-0,01
Al						1	-0,48**	-0,28*	0,07	-0,29*	-0,50**	-0,01	0,97**
Ca							1	-0,05	0,36**	0,15	0,59**	0,24	-0,58**
Mg								1	0,69**	0,38**	0,76**	0,17	-0,42**
CTC _{efet}									1	0,29*	0,82**	0,31*	-0,14
CTC _{pH7}										1	0,42**	-0,72**	-0,37**
SB											1	0,28*	-0,67**
V%												1	-0,07
m%													1

Tabela 2 - Significância e coeficientes de correlação de Pearson ($p < 0,01$) para as propriedades químicas de Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, numa catena do Pampa.

pH H₂O: Acidez ativa. H+Al: Acidez potencial. Al: Alumínio. MO: Matéria orgânica. K: Potássio. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. SB: Soma de bases. CTC_{efet}: Capacidade de troca de cátions efetiva. CTC_{pH7,0}: Capacidade de troca de a pH 7,00. V%: Saturação por bases. m%: Saturação por Alumínio. P: Fosforo CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância ($p < 0,05$).

Conforme a Tabela 3, as variáveis de acidez ativa, acidez potencial, fosforo, CTC_{efetiva}, CTC_{pH7} e saturação por bases, ajustaram-se ao modelo Stable.

Os ajustes para os valores de matéria orgânica e cálcio seguiram o modelo Gaussiano (TABELA 3). Para a matéria orgânica, o ajuste vai de encontro ao observado por Pontelli, (2006) e Libanio, (2014), já o cálcio, segue o ajuste observado por Libanio, (2014).

Por fim, o modelo matemático circular foi o que melhor descreveu os dados de potássio, alumínio, saturação por alumínio e a soma de bases, e o modelo o exponencial foi o que melhor se ajustou aos dados de magnésio (TABELA 3).

Os valores de alcance obtidos para todas as propriedades estudadas foram superiores a equidistância da malha amostral, que foi de 15 m, indicando um elevado padrão de acurácia nas predições. O alcance torna-se uma referência indispensável, para avaliação da grade amostral, avaliando-a se foi suficiente para a determinação das variáveis espaciais estudadas, ou seja, a distância máxima correlacionadas espacialmente (MCBRATNEY & WEBSTER, 1986; PANOSSO et al., 2008). Tal parâmetro é condicionado pelo patamar, o valor máximo do semivariograma, o qual equivale ao limite da covariância entre dois pontos quando sua separação tende a zero.

O efeito pepita para a maioria das propriedades químicas estudadas foi igual ou próximo a 0, e estes valores indicam a não ocorrência do erro experimental, ou a ocorrência de erros desprezíveis (TRANGMAR et al., 1985); exceto para a saturação por alumínio, a qual apresentou um elevado valor de pepita, e esta variação conforme

Vieira (2000), está associada a variabilidade não descrita pelo modelo.

A dependência espacial, tendência a que o valor de uma variável associada a uma determinada localização assemelha-se mais ao valor de suas amostras vizinhas do que ao restante das localizações do conjunto amostral pode ser avaliada pelo grau de dependência espacial que, conforme a Tabela 3, foi classificado como forte para a maioria das propriedades químicas estudadas, com a razão do efeito pepita inferior ou igual a 25% do patamar.

Prop.	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	M	RMS	MS	RMSS	ASE	DE	GDE (%)
pH H ₂ O	Stable	72,35	0,11	0,000	0,013	0,337	0,039	0,976	0,345	Forte	0,00
H+Al	Stable	35,25	11,85	0,000	0,025	3,398	0,007	1,000	3,386	Forte	0,00
MO	Gaussiano	36,75	0,45	0,000	0,005	0,605	0,006	1,014	0,600	Forte	0,00
K	Circular	167,79	0,06	0,006	-0,000	0,119	-0,008	1,013	0,118	Forte	12,26
P	Stable	27,50	1,52	0,000	-0,009	1,289	-0,007	1,034	1,248	Forte	0,00
Al	Circular	30,06	0,34	0,275	-0,031	0,714	-0,034	0,967	0,738	Fraco	79,85
Ca	Gaussiano	109,43	0,85	0,564	0,032	0,810	0,036	0,990	0,822	Moderado	66,21
Mg	Exponencial	30,17	1,67	0,000	-0,005	1,185	-0,005	0,997	1,196	Forte	0,00
CTCe	Stable	30,48	17,45	0,001	0,003	1,135	-0,000	0,999	1,126	Forte	0,01
CTCpH7	Stable	32,26	13,87	0,000	0,088	3,692	0,022	1,000	3,684	Forte	0,00
SB	Circular	73,19	2,76	0,527	0,019	1,169	0,009	1,006	1,163	Forte	19,11
V%	Stable	35,74	157,83	0,000	-0,322	12,166	-0,027	1,000	12,141	Forte	0,00
m%	Esferico	73,19	70,21	13,789	-0,235	6,158	-0,025	0,990	6,307	Forte	19,64

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para as propriedades químicas de Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, numa catena do Pampa.

pH H₂O: Acidez ativa. H+Al: Acidez potencial. Al: Alumínio. MO: Matéria orgânica. K: Potássio. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. SB: Soma de bases. CTCefet: Capacidade de troca de cátions efetiva. Capacidade de troca de a pH 7,00: CTCpH7,0. V%: Saturação por bases. m%: Saturação por Alumínio. P: Fosforo. Prop.: Propriedades químicas. Pepita: Efeito pepita. M: Média. RMS: Raiz quadrada média. MS: Média padronizada. RMSS: raiz quadrada média padronizada. ASE: Erro médio padrão. DE: Dependencia Espacial, GDE (%): Grau de dependencia espacial.

As propriedades químicas que apresentaram correlações somáticas e inversas na tabela 2, seguiram o mesmo padrão de correlação durante a sua distribuição espacial, conforme os modelos digitais apresentados na figura 2.

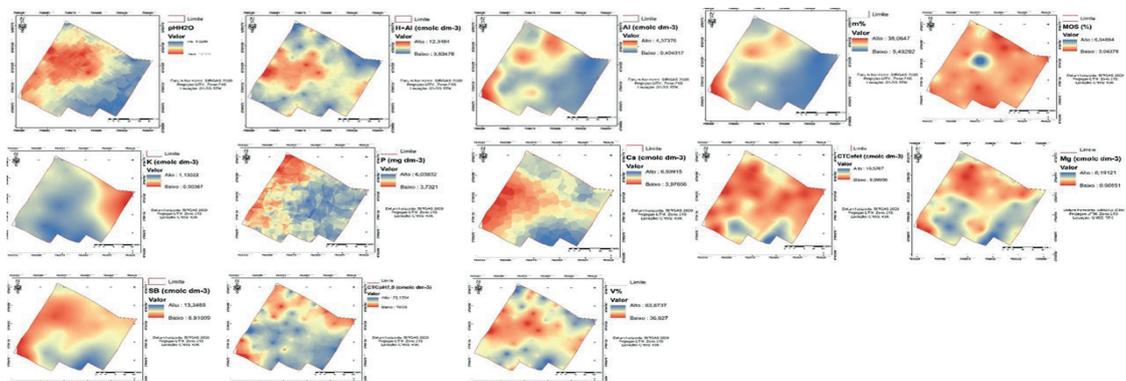


Figura 2 – Modelos digitais das propriedades químicas de Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, numa catena do Pampa.

pH H₂O: Acidez ativa. H+Al: Acidez potencial. Al: Alumínio. m%: Saturação por alumínio. MOS: Matéria orgânica do solo. K: Potássio. P: Fósforo Ca: Cálcio. Mg: Magnésio. SB: Soma de bases. CTC_{efet}: Capacidade de troca de cátions efetiva. Capacidade de troca de a pH 7,00: CTC_{pH7,0}. V%: Saturação por bases.

Este trabalho abre novos caminhos para estudos futuros, primeiramente para análise de correlação das propriedades químicas com as propriedades físicas do solo. Também, será possível estabelecer padrões de distribuição espacial das propriedades do solo baseados nas feições do relevo.

4 | CONCLUSÕES

- A densidade amostral mostrou-se de grande importância para as definições das variáveis com exatidão.
- Foram observadas correlações entre as diferentes propriedades químicas ligadas a fertilidade dos Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, na catena.
- As propriedades químicas dos Neossolos apresentaram relações espaciais em sua distribuição.
- Os Neossolos cultivados com soja, sob cultivo mínimo, em geral, apresentaram boa fertilidade química, demandando o aporte de corretivos e a suplementação de fósforo.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V. H. et al. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.25-32. 1999.
- ANSELMÍ, A. A. **Adoção da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre,RS: UFRGS Dissertação (Mestrado)Centro de estudos e Pesquisas em Agronegócios, 104f. 2012.
- ARAÚJO, Q.K.; FIGUEIREDO, M.S.; COSTA, L.M.; LOURES, E.G.; REGAZZI, A.J.; FONTES, L.E.F. & CASALI, V.W.D. **Ação da queima e da percolação sobre propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo variação una**. R. Ceres, 41:537-558, 1994.
- BOT, A, J.; NACHTERGAELE, F.O.; YOUNG, A. **Land resource potetial and constraints at regional and country levels**. Rome, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization,. 114p. 2000.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. **Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils**. Soil Science Society America Journal, v.58, 1994. p.1501-1511, 1994.
- CASTRIGNANÒ, A.; STELLUTI, M. Fractal geometry and geostatistics for describing the field variability of soilaggregation. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 73, n. 1, p. 13-18, 1999.
- CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul/ UFRGS, 400p. 2004.

- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Documentos, 132), 230 p. 2011
- DUTRA DA SILVA, M. **Análise da fragilidade ambiental da região sul do Rio Grande do Sul: uma ferramenta para o planejamento e gestão de áreas naturais**. 2008, 157 p. Tese de doutorado (PPG Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, agosto de 2008.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p
- ENVIROMENMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geostatistical analyst**. Redlands, 2016.
- GUIA PRÁTICO PARA INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS DE ANÁLISES DE SOLOS /Lafayette Franco Sobral ... [et al.] – Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2015.13 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 206).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação. Escala 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: Relações solo planta**. São Paulo: Agronomia Ceres,. 262p. 1979.
- KÖPPEN, W. Climatologia. México, **Fundo de Cultura Econômica**, 1931.
- LIBANIO P.A., CALDEIRA, S.F. SANTOS, V.S. **Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em povoamento de tectona grandis**. Lavras, MG: UFLA. CERNE, vol. 20, núm. 3, pp. 377-384. 2014.
- LOPES, A.S.; GUILHERME L.R.G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017p.
- MANCIN C.R. **Matéria orgânica e formas de alumínio em um latossolo vermelho distroférrico sob sistema plantio direto consolidado**. Dourados, MS: UFGD, 2010. 80 p.
- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. **Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates**. Journal of Soil Science, v.37, p.617-639. 1986.
- MELLO, G., Bueno C.R.P. & PEREIRA, G.T., **Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas**. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.2, p.294–305. 2006.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 42p, 1961.
- NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017p.
- PANOSSO, A.R.; PEREIRA, GENER, T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JÚNIOR, N. **Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolo sob cultivo de cana de açúcar em dois sistemas de manejo**. Jaboticabal – SP: UNESP, 28:227-236, 2008.

PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D., et al. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:119-128, 2009

PEDRON, F.A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**. 2007. 160p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PONTELLI, C.B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas de agricultura de precisão**. 2006. 112p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria (RS).

RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e de calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, SP. Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 285p. 1997.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010

SCIPIONI M.C, LONGHINI S.J., REINERT D.J., ARAÚJO M.M., PEDRON F.A. **Distribuição do compartimento arbóreo em gradiente de relevo e solos na energia Meridional da Serra Geral, RS**. *Ciência Rural*, v.40, n.6, jun, 2010.

SOBRAL L.F. et al. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos** – Aracaju :Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.13 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 206).

SOUZA, D. M.G; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Fertilidade do Solo**. Viçosa- MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Cap. V, 2007. p 221

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, USA: Oxford university press, 328p. 2008.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed., New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

STÜRMER, S.L.K. **Infiltração de água em neossolos Regolíticos do rebordo do planalto do Rio grande do sul**. Santa Maria, RS: UFSM. (Dissertação de mestrado). 104p. 2008

TAYLOR, J.C. et al. Soil factors and their influence on within-field crop variability, Part II: Spatial analysis and determination of management zones. **Bios. Eng.**, v. 84, p. 441-453, 2003.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA G. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties**. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.38, p.45-94, 1985.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (eds). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-53.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: Hillel, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980.

WOOD, S. et al. **Soil resource condition**. A joint study by the International Food Policy Research Institute And World Resources Institute. Washington: International Food Policy Research Institute And World Resources Institute, 2001. p.45-54

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA MATÉRIA ORGÂNICA, FÓSFORO E POTÁSSIO DE NEOSSOLOS, APÓS A INSERÇÃO DA CULTURA DA SOJA, COM PREPARO CONVENCIONAL

Higor Machado de Freitas

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Julio César Wincher Soares

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Pedro Maurício Santos dos Santos

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Topografia e Geotecnologias – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Daniel Nunes Krum

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Lucas Nascimento Brum

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Jéssica Santi Boff

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Matheus Ribeiro Gorski

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de

Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

Thaynan Hentz de Lima

URI – Campus Santiago – RS, Laboratório de Solos – URI – Campus – RS, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000.

RESUMO: A fertilidade do solo consiste em um conjunto de características químicas, físicas e biológicas, para que a planta consiga expressar o seu potencial máximo de produtividade. As variações da matéria orgânica do solo (MOS), do fósforo (P) e do potássio (K) estão relacionadas com o uso e manejo dos solos. O estudo da variabilidade espaço-temporal das propriedades químicas dos solos é de suma importância para a gestão conservacionista da paisagem. O objetivo do presente trabalho foi de avaliar a variabilidade espacial e temporal da matéria orgânica do solo, fósforo e potássio de NEOSSOLOS, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional. O trabalho foi realizado numa encosta de 1,17 ha na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Santiago, RS. A variabilidade da MOS, do P e do K foi avaliada pela análise estatística descritiva e por técnicas de geoestatística.

Por se tratar de 52 amostras por ocupação, a hipótese de normalidade dos dados foi examinada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com 99 % de significância, Estabeleceram-se semivariogramas para possibilitar a avaliação quantitativa das variáveis regionalizadas, com o interpolador de krigagem ordinária. O teor de MO foi determinado pelo método colorimétrico; o P por sua vez, foi determinado por colorimetria e o K por fotometria de chama. Para P, ocorreu o incremento nos teores deste elemento, após a inserção da cultura da soja, e este processo pode estar atrelado a adubação pré-semeadura e ao aproveitamento da cultura. As perdas de K por volatilização e os processos erosivo são em geral baixas, já a absorção via cultura é maior comparado com o P. A densidade amostral foi de grande importância para a definição das variáveis com exatidão.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilidade química, agricultura de precisão, manejo e conservação do solo.

ABSTRACT: Soil fertility consists of a set of chemical, physical and biological characteristics, so that the plant is able to express its maximum productivity potential. Changes in soil organic matter (SOM), phosphorus (P) and potassium (K) are related to soil use and management. The study of spatio-temporal variability of soil chemical properties is of paramount importance for landscape conservation management. The objective of the present work was to evaluate the spatial and temporal variability of the soil organic matter, phosphorus and potassium of NEOSSOLOS, after the insertion of the soybean crop, with conventional preparation. The work was carried out on a slope of 1.17 ha in the School Farm of the Integrated Regional University of Upper Uruguay and the Missions, Campus de Santiago, RS. The variability of the MOS, P and K was evaluated by descriptive statistical analysis and by geostatistics techniques. Because of the 52 samples per occupation, the hypothesis of normality of the data was examined by the Kolmogorov-Smirnov test, with 99% significance. Semivariograms were established to allow the quantitative evaluation of the regionalized variables with the ordinary kriging interpolator. The OM content was determined by the colorimetric method; P was determined by colorimetry and K by flame photometry. For P, there was an increase in the contents of this element, after the insertion of the soybean crop, and this process may be tied to the pre-sowing fertilization and the utilization of the crop. The losses of K by volatilization and the erosive processes are generally low, since the absorption through culture is higher compared to P. The sample density was of great importance for the definition of the variables with accuracy.

KEYWORDS: Chemical Fertility, Precision Agriculture, Soil Management and Conservation.

1 | INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo consiste num conjunto de características químicas, físicas e biológicas, para que uma planta consiga expressar o seu potencial máximo de produtividade.

Pode ser considerado um solo fértil quimicamente aquele que apresenta quantidades balanceadas de todos os nutrientes, em condições de serem absorvidos pelas plantas. Por serem fatores que afetam o crescimento das plantas, as características dos solos podem determinar a produtividade das culturas (FREIRE et al., 2013).

A aplicação da agricultura de precisão envolve diferentes medidas dos fatores de produção, tendo em vista a variação espaço-temporal do potencial produtivo do meio agrícola e de suas necessidades específicas, de forma que proporcione um aumento na eficiência da sua utilização e assim, melhore o rendimento econômico e reduza o impacto ambiental da atividade (COELHO et al., 2004).

O estudo da variabilidade espaço-temporal das propriedades químicas dos solos é de suma importância para a gestão conservacionista da paisagem. As variações da matéria orgânica do solo (MOS), do fósforo (P) e do potássio (K) estão relacionadas com o uso e manejo dos solos, determinando assim, a sua qualidade.

O manejo inadequado do solo pode culminar na sua degradação, através dos processos erosivos e das mudanças no uso e ocupação das terras, gerando uma redução significativa na fertilidade do solo (LEITE et al., 2010). A MOS é um ótimo indicador de qualidade do solo e a sua importância em relação à fertilidade, é amplamente reconhecida (REICHERT et al., 2003).

A presença da MOS provoca uma melhoria na eficiência da adubação fosfatada, por meio da liberação de ácidos orgânicos, permitindo assim, que o P fique mais disponível às plantas (BOT & BENITES, 2005).

Nos tecidos vegetais, o K é o cátion mais abundante, sendo absorvido pelas raízes em altas quantidades na forma do íon K^+ (MEURER, 2006). Segundo Brady (1989), o K é demandado em amplas quantidades pelas culturas, podendo igualar-se as quantidades de nitrogênio e acumular-se nos resíduos, três ou quatro vezes mais que o P.

Trabalhos como de Vieira et al. (1981); Vieira et al. (1983), Souza et al. (1998) e Berg & Oliveira (2000) demonstram que, através das técnicas geoestatísticas, a variabilidade do solo não é puramente aleatória, pois apresenta correlação ou dependência espacial.

O objetivo do presente trabalho foi de avaliar a variabilidade espacial e temporal da matéria orgânica do solo, fósforo e Potássio de NEOSSOLOS, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa Catena de 1,17 ha, localizada na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Santiago, com coordenadas UTM 705573.07 (m) N e 6769119.44 (m) E (SIRGAS2000, fuso 21J – Meridiano Central -57).

Conforme a classificação de Köppen, o tipo climático regional é o Cfa, subtropical úmido, com precipitação abundante em todos os meses do ano, perfazendo uma precipitação anual de 1.919 mm, com temperatura média anual de 17,9 °C (MORENO, 1961). O relevo apresenta feições de suave ondulado a ondulado, com altitude média de 394 metros. A área de estudo é formada por polipedons de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, sob campo nativo, com mais de três décadas de ocupação.

Foram coletadas amostras em NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos num total de 52 pontos de prospecções, em dois momentos, no primeiro ano (2016) com campo nativo, e no ano seguinte, o plantio convencional da soja (2017), com adubação pré-plantio. Foi utilizada uma malha, com intervalos regulares de 15 x 15 m, na profundidade de 0,0 – 0,20 m. Nas amostras coletadas determinaram-se os teores de MOS e o P, pelo método colorimétrico, o K, por sua vez, foi determinado em espectrofotômetro de chama, conforme Tedesco et al. (1995).

Para a locação dos pontos foi utilizado um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) de dupla frequência (L1/L2) marca e modelo Leica Viva GS15, e disponibilidade de RTK (Real Time Kinematic).

A variabilidade espacial foi avaliada pela análise estatística descritiva e por técnicas de geoestatística, utilizando o Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® 10.5.1. Foram utilizados os limites de coeficiente de variação (CV) estabelecidos por Warrick e Nielsen (1980), para a classificação da variabilidade das propriedades analisadas, sendo: $CV < 12\%$, $12\% < CV < 60\%$ e $CV > 60\%$, considerados de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar.

Posteriormente, utilizou-se o software ArcGIS® 10.5.1 para a elaboração dos mapas de variabilidade espacial das variáveis preditas pelo interpolador de krigagem.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes às análises descritivas da MOS, P e K apresentam distribuição normal, conforme Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 99% de significância (TABELA 1).

Ocupação	Propriedade	Casos	Mínimo	Máximo	Média	C (%)	V	K-S	SIG
Campo Nativo	MO	52	23,98	89,41	32,47	28,28	1,53	0,02	
	K	52	0,12	1,78	0,38	64,39	1,25	0,09	
	P	52	0,14	7,30	3,06	55,66	1,46	0,03	
Soja com plantio convencional	MO	52	2,43	37,34	25,40	19,86	0,98	0,28	
	K	52	0,05	0,56	0,35	29,46	0,88	0,42	
	P	52	2,80	9,70	5,33	25,34	1,11	0,16	
Saldo	MO	52	-65,17	7,45	-7,08	10,31	0,98	0,28	
	K	52	-1,42	0,24	-0,03	0,23	0,88	0,42	
	P	52	-3,40	7,27	2,27	1,92	1,113	0,16	

Tabela 1 - Análise estatística descritivas da matéria orgânica, fósforo e potássio de NEOSSOLOS, em diferentes momentos.

MO: Matéria Orgânica. P: Fósforo. K: Potássio. CV: Coeficiente de Variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig:Significância(p<0,01).

A análise da estatística descritiva, da área com campo nativo, revela que os valores da MOS possuem média de 32,47 g Kg⁻¹. O P apresentou valores médios de 3,06 mg/dcm³. Por fim, o K demonstrou média de 0,38 cmol/dcm³ (TABELA 1).

Nesta mesma área, após a introdução do plantio convencional, a MOS apresentou média de 25,40 g Kg⁻¹. O P teve demonstrou valor médio de 5,33 mg/dcm³. Já o K demonstrou valor médio de 0,35 cmol/dcm³ (TABELA 1).

Conforme a Tabela 1 observa-se nos valores de saldo do P que, ocorreu o incremento nos teores deste elemento, após a inserção da cultura, e este processo pode estar atrelado a adubação pré-semeadura e ao aproveitamento da cultura.

As perdas de K por volatilização e os processos erosivo são em geral baixas, já a absorção via cultura é maior comparado com o P. Em um trabalho realizado por Guadagnin (2003), durante cultivos, o autor observou que as perdas totais de P e K por processos erosivos diminuem do início ao final do ciclo das culturas.

Na análise geoestatística dos saldos, o modelo que melhor se ajustou para a MO foi o exponencial, com um alcance de 170,26 m, patamar de 94,41 e efeito pepita de 49,49. A dependência espacial foi classificada como moderada, com GDE de 52,42 %. O P se ajustou ao modelo gaussiano, com alcance de 28,84 m, patamar de 2,74 e efeito pepita de 0,37; dependência espacial forte, com um GDE de 13,84. Por fim, o K ajustou-se ao modelo exponencial, com alcance de 66,85 m, patamar de 0,03 e efeito pepita de 0,02, com dependência espacial fraca e GDE de 83,40 % (TABELA 2).

Propriedade	MO	P	K
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Exponencial
Alcance	170,26	28,84	66,55

Patamar	94,41	2,74	0,03
Pepita	49,49	0,37	0,02
M	0,605	-0,023	0,009
RMS	10,479	1,375	0,218
MS	0,061	-0,009	0,037
RMSS	1,102	1,020	1,038
ASE	9,434	1,324	0,207
DE	Moderada	Forte	Fraca
GDE(%)	52,42	13,84	83,40

Tabela 2 - Análise geoestatística dos saldos da matéria orgânica, fósforo e potássio de NEOSSOLOS, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional, sob campo nativo.

MO: Matéria Orgânica. P: Fósforo. K: Potássio. M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão. DE: Dependência Espacial. GDE: Grau de Dependência Espacial.

Uma dependência espacial forte das propriedades do solo é atribuída aos fatores intrínsecos, à medida que, aos extrínsecos, pode-se conceber fraca dependência (Cambardella et al., 1994).

Conforme a Figura 1, relacionando os mapas de distribuição espacial dos saldos das diferentes propriedades químicas dos solos, observa-se na paisagem que, as perdas de P e K predominam no sentido sudoeste a norte, já a MOS apresentou maiores perdas de sudoeste para sudeste. Conforme Krum et al. (2017), que descreveu o modelo digital de elevação (MDE) da Catena em estudo, as perdas de P e K predominam no terço inferior da encosta, e as perdas da MOS predominam no terço inferior e superior da encosta.

De acordo com a Tabela 2, a equidistância da grade amostral foi suficiente para explicar com exatidão as propriedades analisadas, pois os valores de alcance foram identificados nas análises e foram superiores a 15 m. De acordo com Vieira et al. (1997) o alcance indica a distância onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si. Sendo assim uma ferramenta para o planejamento e avaliação experimental, auxiliando na definição das amostragens (MCBRATNEY E WEBSTER 1986).

Outro fator de grande importância na geoestatística é o efeito pepita, que quanto menor a sua proporção em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada pelas propriedades, em consequência, maior confiabilidade no resultado (LIMA et al., 2010). Portanto, efeito pepita resultante for próxima a 0, indica que o erro experimental é praticamente nulo, e que não a variação significativa para distâncias menores que a amostrada (TRANGMAR et al., 1985). Neste estudo, para a maioria das propriedades, o efeito pepita foi praticamente nulo, visto que, os valores estiveram próximos a zero.

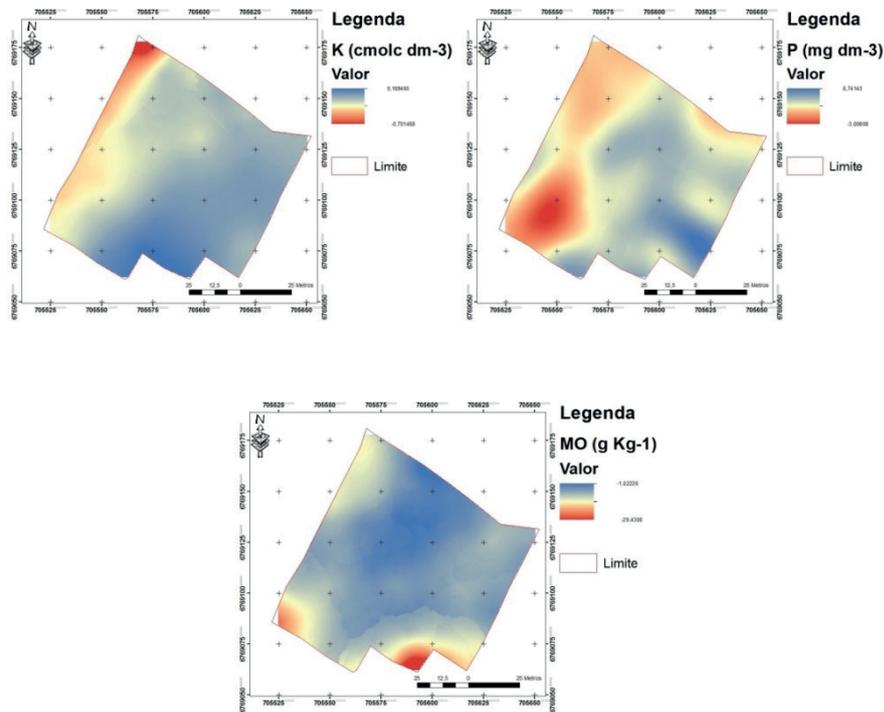


Figura 1 – Mapas de distribuição espacial dos saldos da matéria orgânica, fósforo e potássio de NEOSSOLOS, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional, sob campo nativo.

4 | CONCLUSÕES

- Foi observada a variabilidade espaço-temporal dos saldos das propriedades químicas de NEOSSOLOS, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional, sob campo nativo.
- A inserção da cultura da soja, com preparo convencional, sob campo nativo contribuiu para a redução nos teores de potássio e matéria orgânica, já o fósforo apresentou incremento nos NEOSSOLOS.
- As variáveis químicas apresentaram relações espaciais em sua distribuição na paisagem.
- A densidade amostral mostrou-se de grande importância para a predição acurada das variáveis.

REFERÊNCIAS

- BOT, A.; BENITES, J., **The importance of soil organic matter, Key to drought-resistant soil and sustained food production**. FAO Soils Bulletin, 2005. 80p.
- BRADY, N.C., Suprimento e assimilabilidade de fósforo e potássio. In: BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. p.373- 413.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; et al., **Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1501-1511, 1994.
- COELHO, J.C.; SILVA, L. M.; TRISTANY, M., et al., **Agricultura de Precisão**, Prefácio, Lisboa, 2004.

FREIRE, L.R.; BALIEIRO, F.C.; ZONTA, E. et al., 2013. **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, v.1, 2013. 69 – 85 p.

GUADAGNIN J.C., **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. 142p. (Tese de Mestrado).

KRUM D.N.; SOARES J.C.W.; RUVIARO C.; ROSADO G.F.; et al., **Variabilidade espacial e temporal das frações de matéria orgânica do solo pós-inserção da cultura do soja com plantio convencional sob campo nativo** In: IV Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas, Não Me Toque, 2017.

LEITE L.F.C.; OLIVEIRA, F.C.; ARAUJO A.S.F; et al., **Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil**. Australian Journal of Soil Research, v. 48, p. 258-265, 2010.

LIMA S. S. J.; SOUZA, S.S. J.; SILVA, S.S.; et. al. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, viçosa-mg, v.34, n.1, p.127-136, 2010.

MEURER E.J.; **Potássio**. In: Fernandes MS. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.281-298.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonizações, Secção de Geografia, 1961. 46p.

McBRATNEY, A. G.; WEBSTER, A. G.; Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617- 639, 1986.

REICHERT J.M.; REINERT D.J.; BRAIDA J.A.; **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. Ciência; Ambiente, Santa Maria-RS, v. 27, p. 29-48, 2003.

SOUZA L.S.; COGO N.P.; VIERA S.R., **Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.3, p 77-86, 1998.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K. et al., Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n.1, p.45-94, 1985.

TEDESCO M.J.; GIANELLO C.; BISSANI C.A. et al., **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p.

VIEIRA S.R.; NIELSEN D.R.; Biggar J.W.; **Spatial variability of fieldmeasured infiltration rate**. Soil Science Society America Journal, Madison, v.45, p.1040-1048, 1981.

VIEIRA S.R.; HATFIELD J.L.; NIELSEN D.R.; et al., **Geostatistics theory and application to variability of some agronomical properties**. Hilgardia, Califórnia, v.31 n.3, 1983, 75p.

VIEIRA, S. R., Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.181-190, 1997.

VIEIRA S.R.; **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R. (Eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.1-54.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.) **Applications of soil physics**. Academic Press, New York, 1980.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio - Doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (2019-2023), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (2014-2016), Especialista MBA em Agronegócios – CESCAGE (2010). Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009). Atualmente é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-185-5

