



Congresso Sul-Americano de
Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas



O PROTAGONISMO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO RUMO À SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA

26 e 27 de Setembro de 2023
Não-Me-Toque | RS | Brasil



TRABALHOS COMPLETOS

Editora CESPOL/UFSM

ISBN: 978-65-990392-5-6

**PREFEITURA MUNICIPAL DE NÃO-ME-TOQUE, RS
SINDICATO RURAL DE NÃO-ME-TOQUE
SISTEMA FARSUL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COTRIJAL**

**CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO
E MÁQUINAS PRECISAS**

**Tema: “O Protagonismo da Agricultura de Precisão Rumo à
Sustentabilidade Agrícola”.**

6ª Edição

LIVRO DIGITAL

**TRABALHOS COMPLETOS DO VI CONGRESSO SUL-AMERICANO
DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E MÁQUINAS PRECISAS**

3ª Edição

Organização do Livro Digital Lúcio de Paula Amaral

26 a 27 de setembro de 2023

Não-Me-Toque – RS – Brasil

2024

ORGANIZAÇÃO/REALIZAÇÃO DO EVENTO

ORGANIZADORES

Prefeitura Municipal de Não-Me-Toque, RS
Sindicato Rural de Não-Me-Toque
Sistema FARSUL
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (PPGAP)
COTRIJAL

PATROCÍNIO DIAMANTE

STARA

REINO DOS PAÍSES BAIXOS

JACTO

PATROCÍNIO OURO

SENAR-RS JOHN DEERE COPREL TELECOM MASSEY FERGUSON EXATA BRASIL

PATROCÍNIO BRONZE

SICREDI

KOPPERT

BIOTROP

APOIADORES

AsBraAP

SPD SOIL DIAGNOSTIC

EMATER/GOVERNO RS

COMISSÃO ORGANIZADORA

Diretoria do APSUL

Presidente do APSUL: Teodora Berta Souilljee Lütkemeyer (Sindicato Rural)

Coordenador Técnico do Evento: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado (UFSM)

Coordenador do Comitê Científico do Evento: Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral (UFSM)

Membros do APSUL

Alexandre Prado – FARSUL

Cristina Napp – Prefeitura Municipal de Não-Me-Toque

Leonardo Kerber – COTRIJAL

Lúcio de Paula Amaral – UFSM/PPGAP

Paulo Júnior Gomes da Silva – Prefeitura Municipal de Não-Me-Toque

Silvio Van Vught – Sindicato Rural de Não-Me-Toque

Telmo Jorge Carneiro Amado – UFSM/PPGAP

Teodora Berta Souilljee Lütkemeyer – Sindicato Rural de Não-Me-Toque

Umberto Moraes - FARSUL

Equipe de Apoio

Ana Cláudia Stumm

Anna Júlia Lütkemeyer

Cintia Roberta dos Santos Dal Vesco

Flávia Fritzen

Katiusca Oliveira

Michele Souilljee Birck

Rosaura Allebrandt

Stefano Santos

Thomas Liska

Vinicius Marini

Membros do Comitê Científico (Lista de Revisores e Pareceristas *ad hoc*)

Airton Polon	PPGAP/UFSM
Alberto Eduardo Knies	UFSM-CS
Alessandro Carvalho Miola	Colégio Politécnico/UFSM
Alexandre Russini	UNIPAMPA; UFSM/PPGAP
Aline de Oliveira Fogaça	Vinícola Velho Amâncio
André Luiz Vian	UFRGS
Anna Julia Lütkemeyer	APSUL AMÉRICA
Antoninho João Pegoraro	Colégio Politécnico/UFSM
Breno Bevilaqua Heinz	PPGAP/UFSM
Bruna Rathke	Connect Farm; PPGAP/UFSM
Christian Bredemeier	UFRGS; UFSM/PPGAP
Claire Delfini Viana Cardoso	Colégio Politécnico/UFSM/PPGAP
Cleiton José Ramao	IRGA
Dalvan José Reinert	PPGCS/UFSM
Darlei München Bamberg	PPGAP/UFSM
Diogo Belmonte Lippert	Colégio Politécnico/UFSM
Eduardo Leonel Bottega	PPGAP/UFSM; UFSM-CS
Emanuel Araújo Silva	PPGCF/UFRPE
Francine Damian da Silva	DER-CCR/UFSM
Gerson dos Santos Lisboa	UFG
Frederico Doeler	PPGAP/UFSM
Giovanna Gelak Spinelli	Base – Precisão na Agricultura; PPGAP/UFSM
Ivan Carlos Maldaner	Colégio Politécnico/UFSM
Jardel Talamini de Abreu	PPGAP/UFSM
João Fernando Zamberlan	URI/AGRO URBIS
José Cardoso Sobrinho	Colégio Politécnico/UFSM/PPGAP
Juliano Dalcin Martins	DER-CCR/UFSM
Juliano Reis da Silva	PPGAP/UFSM
Larissa Barden Meira	PPGAP/UFSM
Leonardo Seibel Sander	Stara; PPGAP/UFSM
Liane de Souza Weber	DER-CCR/UFSM
Luan Pierre Pot	GDM – Grupo Don Mário
Luciano Gebler	EMBRAPA - Uva e Vinho; UFSM/PPGAP
Luciano Zucuni Pes	UFSM/PPGAP
Lúcio de Paula Amaral	DER-CCR/UFSM/PPGAP
Luiz Felipe Diaz de Carvalho	Colégio Politécnico/UFSM/PPGAP
Luiz Patric Kayser	Colégio Politécnico/UFSM/PPGAP
Marcelo Silveira Farias	Colégio Politécnico/UFSM/PPGAP
Marco Ivan Rodrigues Sampaio	UNICRUZ; AGRO URBIS; PPGEU/UFSM
Marcus Henrique Alberto	COAMO; PPGAP/UFSM
Matheus Morais Ziembowicz	PPGEF/UFSM
Mauricio Frigo Dal' Soto	Connect Farm; PPGAP/UFSM
Murilo Vargas Lunardi	PPGAP/UFSM

Norton Borges Júnior
Pedro Trevisan Hamann
Rauéli Larissa Barbosa
Reyllis Kiefer Unfer
Roberta Aparecida Fantinel
Rozimario Bittencourt Fagundes
Sally Deborah Pereira da Silva
Victor Hugo Lezcano Velazco
Vinicius dos Santos Cunha
Telmo Jorge Carneiro Amado
Zanandra Boff de Oliveira

PPGEF/UFSM
IRGA; PPGAP/UFSM
COTIRJAL; IDEAL
Connect Farm; PPGAP/UFSM
PPGEF/UFSM
PPGAP/UFSM
PPGEF/UFSM
Connect Farm; PPGAP/UFSM
UNIPAMPA
UFSM/PPGAP/PPGEA/PPGCS
PPGAP/UFSM; UFSM-CS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO
(PPGAP)

MESTRADO PROFISSIONAL EM AGRICULTURA DE PRECISÃO
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM

Responsabilidade pela edição do Livro Digital:

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão – PPGAP

Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral

Organização do Livro Digital

Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral

Diagramação do Livro Digital

Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral

Eng^a. Florestal Msc. Regiane Aparecida Ferreira

Stefano Santos

Arte da Capa do Livro Digital

Stefano Santos

Ano da Publicação 2024

EDITORA CESPOL - Cooperativa-Escola dos Estudantes do Colégio Politécnico da UFSM

Endereço:

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Colégio Politécnico da UFSM

Prédio 70, Bloco F, Sala 211-A, Santa Maria, RS

Brasil, CEP 97.105-900, Camobi.

Telefone: (55) 3220 9419 (ramal 253)

e-mail: ppgap.politecnico@ufsm.br

C749t Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas (6. : 2023 : Não-Me-Toque, RS) :
Trabalhos completos do VI Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas [recurso eletrônico] / VI Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas, 26 a 27 de setembro de 2023 : organização Lúcio de Paula Amaral. – Não-Me-Toque, RS : Prefeitura Municipal ; Santa Maria, RS : UFSM, PPGAP, CESPOL, 2024. 1 e-book : il.

Tema: "O protagonismo da agricultura de precisão rumo à sustentabilidade agrícola"
ISBN 978-65-990392-5-6

1. Agricultura de precisão – Eventos 2. Agricultura digital – Eventos
3. Agricultura 4.0 – Eventos 4. Tecnologias agrícolas 5. Mecanização agrícola
I. Amaral, Lúcio de Paula II. Título.

CDU 631.15(063)
631.17(063)
631.95(063)

Ficha catalográfica elaborada por Lizandra Veleda Arabidian - CRB-10/1492
Biblioteca Central da UFSM

PREFÁCIO

A **Agricultura de Precisão (AP)** emprega atualmente soluções integradas e conectadas da **Agricultura Digital**, que se propõem a auxiliar na **resolução de vários problemas nas lavouras** no mundo todo, inclusive nas lavouras brasileiras e **proporcionar aumento sustentável de produtividade**. Temas emergentes como **sequestro de carbono, agricultura regenerativa, saúde do solo, soluções digitais, automação e robótica** começam a expressar resultados iniciais de sua aplicação no manejo das lavouras.

O **Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas**, também conhecido por **APSUL AMÉRICA**, que tem por objetivos tornar a Agricultura de Precisão, bem como seus atuais desenvolvimentos, ferramentas ao alcance de todos os produtores rurais, independentemente de seu porte e do estágio de adoção de AP em que se encontrem, sendo esta a motivação que estimulou **Não-Me-Toque/RS, a Capital Nacional da Agricultura de Precisão**, juntamente com seus **parceiros, patrocinadores e apoiadores**, a realizar a **6ª edição do APSUL AMÉRICA**, após os fortes impactos da pandemia da Covid19 – Novo Coronavírus no mundo e à uma mudança drástica de rumos na política nacional em 2023, trazendo enormes desafios à agricultura brasileira, bem como aos demais setores produtivos de nossa economia.

O APSUL AMÉRICA agradece **aos mais de 800 participantes** desta atual edição, além de muitos internautas, que participaram *on line* e interagiram em tempo real com o evento, sendo **mantido o mesmo patamar de participação no evento**, que contou com produtores rurais, técnicos de empresas privadas, cooperativas, instituições de ensino, pesquisa e extensão, consultores, estudantes de diversos níveis de formação e qualificação técnico-científico, além de expositores, painelistas, autoridades nacionais e internacionais, dentre outros, sendo **o 6º APSUL AMÉRICA, considerado por estes, um dos maiores eventos de Agricultura de Precisão realizados no Brasil até então**. Desta forma o objetivo e as metas do APSUL AMÉRICA continuam sendo atendidos, e isso nos motiva a continuar a **trabalhar pela Agricultura Brasileira e da América do Sul**.

O tema escolhido para a 6ª edição do APSUL foi **“O Protagonismo da Agricultura de Precisão Rumo à Sustentabilidade Agrícola”**, sendo abordado no congresso questões que tornam os **empreendimentos agrícolas mais sustentáveis** a exemplo da **certificação do sequestro de carbono na pela agricultura, agricultura regenerativa e saúde do solo**, uso de **insumos biológicos, plantas de serviço, solução digitais** e aplicação precisa de insumos, **automação e robótica** na agricultura, dentre outros temas atuais e de interesse do público que compuseram a programação técnica e científica do congresso.

Nesta obra apresentamos a **3ª edição do Livro Digital (e-book)** do Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas, referente a sua 6ª edição realizada em 2023, a ser **distribuída gratuitamente** pela internet, disponibilizando ao público em geral os **trabalhos completos**, na forma de capítulo de livro, apresentados no evento na forma de pôster, organizados em três categorias, sendo os **Trabalhos Científicos, as Descrições de Casos Técnicos e os Relatos de Experiência**, sendo as duas primeiras formas destinados aos pesquisadores e técnicos e a última destinada aos agricultores, para que estes também compartilhem seus conhecimentos. Os trabalhos científicos foram organizados em três áreas temáticas, baseadas nas Linhas de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da UFSM, sendo **Manejo Específico de Sítio de Solo e Planta, Geotecnologias Aplicadas à Agricultura de Precisão e Máquina Agrícolas Desenvolvidas para Agricultura de Precisão**.

Não-Me-Toque, RS, Brasil, 04 de março de 2024.

Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral
Coordenador do Comitê Científico
Representando a Organização do 6º APSUL AMÉRICA
e o PPGAP/UFSM

PREFACE

The **Precision Agriculture (PA)** currently employs integrated and connected **Digital Agriculture** solutions, which aim to help **solve various problems in crops** all over the world, including Brazilian crops, and **provide a sustainable increase in productivity**. Emerging themes such as **carbon sequestration, regenerative agriculture, soil health, digital solutions, automation and robotics** are beginning to show initial results of their application in crop management.

The **South American Congress on Precision Farming and Precise Machines**, also known as **APSUL AMÉRICA**, aims to make precision farming and its current developments tools available for **all farmers**, regardless of their size or the stage of PA adoption they are at, and this is the motivation that spurred **Não-Me-Toque/RS, the National Capital of Precision Agriculture**, together with its **partners, sponsors and supporters**, to hold the 6th edition of APSUL AMÉRICA, following the strong impacts of the Covid19 - New CoronaVirus pandemic on the world and a drastic change of direction in national politics in 2023, bringing enormous challenges to Brazilian agriculture, as well as to the other productive sectors of our economy.

APSUL AMÉRICA would like to thank **the more than 800 participants** in this current edition, as well as many Internet users who took part online and interacted with the event in real time, **maintaining the same level of participation in the event**, which included farmers, technicians from private companies, cooperatives, educational institutions, research and extension institutions, consultants, students of various levels of training and technical and scientific qualification, as well as exhibitors, panelists, national and international authorities, among others, **the 6th APSUL AMÉRICA was considered by them to be one of the largest Precision Farming events held in Brazil to date**. In this way, the objectives and goals of APSUL AMÉRICA continue to be met, and this motivates us **to continue working for Brazilian and South American agriculture**.

The theme chosen for the 6th edition of APSUL was **"The Protagonism of Precision Agriculture Towards Agricultural Sustainability"**, and the congress addressed issues that **make agricultural enterprises more sustainable**, such as the **certification of carbon sequestration in agriculture, regenerative agriculture and soil health, the use of biological inputs, service plants, digital solutions and precise application of inputs, automation and robotics in agriculture**, among other current topics of interest to the public that made up the technical and scientific program of the congress.

This publication presents **the 3rd edition of the Digital Book (e-book)** of the South American Congress on Precision Agriculture and Precise Machines, referring to its 6th edition held in 2023, **to be distributed free** of charge over the internet, making available to the general public the **complete works**, in the form of a book chapter, presented at the event in the form of a poster, organized into three categories, being the **Scientific Works, the Descriptions of Technical Cases and the Experience Reports**, the first two forms being aimed at researchers and technicians and the last aimed at farmers, so that they can also share their knowledge. The scientific papers were organized into three thematic areas, based on the Research Lines of the UFSM Postgraduate Programme in Precision Agriculture, namely **Site-Specific Management of Soil and Plant, Geotechnologies Applied to Precision Agriculture and Agricultural Machines Developed for Precision Agriculture**.

Não-Me-Toque, RS State, Brazil, march 4, 2020.

Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral
Scientific Committee Coordinator
Representing the Organization of the 6th APSUL AMÉRICA
And the PPGAP-UFSM

SUMÁRIO

ÁREA TEMÁTICA: MANEJO ESPECÍFICO DE SÍTIO DE SOLO E PLANTA.....	11
PRODUTIVIDADE DE SOJA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS EM ZONAS DE MANEJO.....	12
EFEITOS DA APLICAÇÃO DE OCTABORATO DE SÓDIO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DA CULTURA DA SOJA.....	22
ZONAS DE MANEJO A PARTIR DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E A RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO.....	31
MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO CULTIVADO EM TERRAS BAIXAS.....	41
MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SORGO CULTIVADO EM TERRAS BAIXAS.....	51
EFEITO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO VEGETAL NO CRESCIMENTO E COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTIVAR DE SOJA NEO 610 IPRO.....	61
DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO POR IMAGENS NDVI PARA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO NO SISTEMA SOJA-MILHO.....	69
MELHORANDO O RENDIMENTO DAS CULTURAS POR AMBIENTE DE PRODUÇÃO.....	77
MONITORAMENTO DO INÓCULO DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA UTILIZANDO COLETORES DE ESPOROS E MAPAS DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL.....	87
MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PERCEVEJOS NA CULTURA DA SOJA SAFRA 2022/2023.....	92
APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM TAXA FIXA E VARIADA COMBINADA COM A UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTE FOLIAR NA CULTURA DO TRIGO.....	99
ANÁLISE TEMPORAL DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA.....	105
VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA AGRÍCOLA DE SANTA MARIA/RS.....	114
GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO A PARTIR DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE E DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	122
VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE RAÍZES EM CINCO ÁREAS AGRÍCOLAS DE SANTA MARIA/RS.....	129
ÁREA TEMÁTICA: GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	138
RESPOSTA DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO RELACIONADOS A PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO A PARTIR DA AMOSTRAGEM POR ZONAS DE MANEJO.....	139
ENHANCING PRECISION: REAL-TIME IMAGE-BASED WEED SEMANTIC SEGMENTATION IN SOY PLANTATIONS.....	149
USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DE ENTRADA DE ÁGUA NA LAVOURA DO ARROZ IRRIGADO.....	157
USO DA GEOESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA PARA A ANÁLISE MENSAL DO CONFORTO TÉRMICO NO RIO GRANDE DO SUL.....	166
VARIABILIDADE ESPACIAL DE INDICADORES DE CONFORTO TÉRMICO EM GALPÕES AVÍCOLAS.....	175
ESTIMATIVA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE FINAL DA SOJA NO RIO	

GRANDE DO SUL EM ANOS DE LA NIÑA PARA SOLOS DE TEXTURA MÉDIA.....	184
AMPLIANDO AS FRONTEIRAS DO MONITORAMENTO DE LAVOURAS: IMAGENS SAR EM PERÍODOS DE ALTA NEBULOSIDADE.....	193
AVALIAÇÃO DA CONTINUIDADE TEMPORAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO PARA FORMAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO.....	203
POTENCIAL DAS IMAGENS OBTIDAS POR RPAS NO INVENTÁRIO E MONITORAMENTO INICIAL DA SOBREVIVÊNCIA DAS MUDAS DE EUCALYPTUS.....	210
ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E CORRELAÇÃO DE MAPAS COM USO DOS SOFTWARES: GS+ E PLUGIN SMART-MAP DO SIG QGIS.....	220
ANÁLISE DO SUPRIMENTO HÍDRICO DO ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO POR MEIO DO USO DE GEOTECNOLOGIAS.....	230
FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO APLICADA AO MELHORAMENTO GENÉTICO DE TRIGO PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO.....	239
AVALIAÇÃO DO NDVI EM ARROZ IRRIGADO POR DUAS PLATAFORMAS DE COLETA: AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA E SENSOR PROXIMAL.....	245
MODELO PARA PREDIÇÃO DO TEOR DE NITROGÊNIO NO MILHO POR MEIO DE ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO.....	253
MAPAS DE NDVI PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO DIFERENCIADAS PARA A VITIVINICULTURA.....	262
APLICAÇÃO DIRECIONADA EM PLANTAS DANINHAS A PARTIR DE ÍNDICE FOLIAR DE IMAGENS RGB.....	270
FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO EM CULTIVARES DE SOJA SUBMETIDAS AO ALAGAMENTO.....	279
MAPEAMENTO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS DE VERÃO UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO E APRENDIZADO DE MÁQUINA: CASO DE ESTUDO DO MUNICÍPIO DE NÃO-ME-TOQUE-RS.....	287
VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E SUA CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA (Glycine max L.).....	296
AVALIAÇÃO GEOSTATÍSTICA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM UM OXISOL, EM NÍVEL COMERCIAL NA REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI.....	306
ÁREA TEMÁTICA: MÁQUINAS AGRÍCOLAS DESENVOLVIDAS PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	316
AMASSAMENTO DAS PLANTAS NA PULVERIZAÇÃO EM ÁREAS COM TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS.....	317
OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SEMEADURA COM USO DE FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DIGITAL.....	323
LEVANTAMENTO DE TECNOLOGIAS DE DEPOSIÇÃO E CONDUÇÃO ATIVA DE SEMENTES APLICADAS EM SEMEADORAS DE PRECISÃO.....	332
DESEMPENHO DA PULVERIZAÇÃO COM DRONE EM DIFERENTES ALTURAS E VELOCIDADES DE VOO.....	341
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE E DIÂMETRO VOLUMÉTRICO DAS GOTAS NA PULVERIZAÇÃO COM DRONE.....	350
DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE SOJA EM FUNÇÃO DE MECANISMOS DOSADORES DE SEMENTES E VELOCIDADES DE SEMEADURA.....	359
TAXA VARIÁVEL DE SEMENTES DE SOJA COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE EM AMBIENTES DE AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	369
ÁREA TEMÁTICA: DESCRIÇÃO DE CASO TÉCNICO E RELATO DE EXPERIÊNCIA.....	379
AGRICULTURA REGENERATIVA: ESTUDO DE CASO EM LAVOURA COMERCIAL DE SOJA	

NO MUNICÍPIO DE ROSÁRIO DO SUL, RIO GRANDE DO SUL.....	380
PLANEJAMENTO DE LINHAS DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS.....	391
ADVANCED FARM 360: ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO NA AGRICULTURA. 397	
USO DA PLATAFORMA DIGITAL CLIMATE FIELDVIEW™ NO COLÉGIO POLITÉCNICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA.....	402
USO DE DRONES DE PULVERIZAÇÃO: EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS COM BIOINSUMOS.....	408



ÁREA TEMÁTICA: MANEJO ESPECÍFICO DE SÍTIO DE SOLO E PLANTA

PRODUTIVIDADE DE SOJA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS EM ZONAS DE MANEJO

Soybean yield as a function of plant population variation in management zones

Eduardo Leonel Bottega^{1*}; Guilherme Santos Haetinger²; Zanandra Boff de Oliveira^{1*}; Bruno Passador Lombardi¹; Telmo Jorge Carneiro Amado^{3*}; Alberto Eduardo Knies⁴

¹ Universidade Federal de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul, Rodovia Taufik Germano 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, eduardo.bottega@ufsm.br, zanandra.oliveira@ufsm.br, bpassadorlombardi@gmail.com

² ConnectFARM Consultoria LTDA, Rua Riachuelo 1130 - Centro, 96508-064, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, guihaetinger@connectfarm.com.br

³ Universidade Federal de Santa Maria, campus Sede, Av. Roraima 1000, 97105-900, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil, proftelmoamado@gmail.com

⁴ Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade da Uergs em Cachoeira do Sul, R. Sete de Setembro 1040, 96508-010, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, alberto-knies@uergs.edu.br

* Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico, Av. Roraima 1000, 97105-900, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

O constante aumento populacional mundial vem fazendo com que cada vez mais cultivos com polivalência de seus produtos tomem maior espaço no mercado. O cultivo da soja, o qual é de grande expressão no território brasileiro se enquadra nestes quesitos, se tornando bastante importante o estudo e a busca da aferição de todas suas recomendações técnicas. Desta forma, a agricultura de precisão (AP), que busca identificar e delimitar subáreas de cultivo dentro de um padrão de características físico-químicas do solo e aplicar nelas um manejo específico, se torna uma estratégia agrônômica crucial que visa alcançar o máximo desempenho produtivo e financeiro deste setor produtivo, aliados a um menor impacto ambiental, sem desconsiderar a sua praticidade de adoção a campo. Tendo isto em vista, formas efetivas e ágeis de mensuração e mapeamento de características da área de cultivo, como a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), se tornam alvo de estudo. Neste trabalho a CEa foi efetiva na delimitação de zonas de manejo para a área. Na zona de manejo de maior CEa houve resposta positiva ao maior adensamento de plantas, enquanto na zona de manejo de menor CEa se obteve mais produtividade na população de plantas intermediária. Com o ajuste de população proposto se estimou um ganho produtivo potencial de 157,07 kg ha⁻¹.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, *Glycine max*, condutividade elétrica aparente do solo

ABSTRACT

The constant increase in the world population is making more and more crops with the versatility of their products take more space in the market. The soybean cultivation, which is of great expression in the Brazilian territory, fits these requirements, making it very important to study and search for the measurement of all its technical recommendations. In this way, precision agriculture (PA), which seeks to identify and delimit sub-areas of cultivation within a pattern of physical-chemical soil characteristics and apply specific management to them, becomes a crucial agronomic strategy that aims to achieve maximum productive and financial performance of this soil productive sector, allied to a lower environmental impact, without disregarding its practicality of adoption in the field. With this in mind, effective and agile ways of measuring and mapping characteristics of the cultivation area, such as soil apparent electrical conductivity (ECa), become the target of study. In this work, the ECa was effective on delimiting management zones for

the area. The higher ECa management zone showed a positive response to the increase in plant population, meanwhile in the lower ECa management zone higher yield was obtained at the intermediate plant population. With the suggested population settlement was estimated a potential productivity gain of 157,07 kg ha⁻¹.

Keywords: Precision agriculture, *Glycine max*, soil apparent electrical conductivity

1. INTRODUÇÃO

No mundo inteiro o aumento populacional é cada vez mais expressivo, ocasionando diversas consequências. Uma das mais preocupantes, senão a mais, é o aumento na demanda de alimentos necessários tanto para a alimentação humana, quanto para a alimentação animal. Neste contexto, o cultivo de soja tem se tornado cada vez mais importante, tendo em vista a vasta possibilidade de uso oferecida pelos seus produtos finais. Atualmente o Brasil aparece como um dos maiores produtores e exportadores do grão a nível mundial, com uma área cultivada de cerca de 44 milhões de hectares na safra 22/23 e produção de cerca de 154 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

Considerando a busca constante pelo aumento na produtividade, em um modelo de produção sustentável, algumas técnicas agrônômicas têm se aperfeiçoado, sendo o ajuste da população de plantas uma delas. A recomendação da população ideal de plantas é um grande desafio, tendo em vista que a soja é uma espécie que apresenta grande plasticidade quanto à resposta a variações no arranjo de plantas. Esta plasticidade fenotípica corresponde à capacidade das plantas de alterarem sua morfologia e componentes de rendimento buscando a combinação mais adequada para cada condição de arranjo de plantas (COOPERATIVE, 1994).

Neste cenário, surge também a agricultura de precisão (AP), com suas ferramentas que auxiliam uma tomada de decisão de manejo pautada na variabilidade espacial de atributos do solo que interferem na produtividade. A AP traz uma forma moderna de gerenciamento da atividade agrícola, a qual tem como objetivo a aplicação dos insumos no local correto, no momento adequado e nas quantidades necessárias à produção para áreas consideradas homogêneas (DOBERMANN & PING, 2004). Estas áreas, que podem ser delimitadas em zonas, facilitando a aplicação dos insumos, são as chamadas zonas de manejo. A utilização de atributos do solo que apresentam baixa variabilidade ao longo do tempo torna-se chave para o sucesso no estabelecimento das zonas de manejo.

Na geração de zonas de manejo, é necessária, em um primeiro momento, a coleta de informações intimamente ligadas à produtividade das culturas, preferencialmente que esta seja de rápida aquisição e de baixo custo. Nesse sentido, um dos atributos que vêm sendo muito utilizado para delimitação de zonas de manejo tem sido a condutividade elétrica aparente do solo (CEa). Pesquisas têm demonstrado sua correlação com atributos químicos e físicos do solo (BOTTEGA et al., 2022; BOTTEGA et al., 2023).

O mapeamento da CEa é rápido e apresenta baixo custo, se comparado com o mapeamento de nutrientes por amostragem e determinação dos atributos por análise em laboratório. Devido sua praticidade e confiabilidade, a CEa tem sido utilizada como estimador indireto da variabilidade existente em um campo de produção (CORWIN; LESCH, 2003). Embora esse atributo seja influenciado pela umidade do solo, ou seja, locais de maior umidade apresentam maiores valores de CEa, King et al. (2005) comprovaram que o padrão espacial se mantém estável, mudando apenas a amplitude dos valores mensurados.

Desta forma, a delimitação das zonas de manejo a partir do mapeamento da variabilidade espacial da CEa, pode ser adotada como estratégia na recomendação da população de plantas

mais adequada para cada local do campo de produção. O objetivo deste trabalho foi estudar a delimitação de zonas de manejo a partir do mapeamento da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo como ferramenta para tomada de decisão quanto a recomendação da população de plantas na cultura da soja.

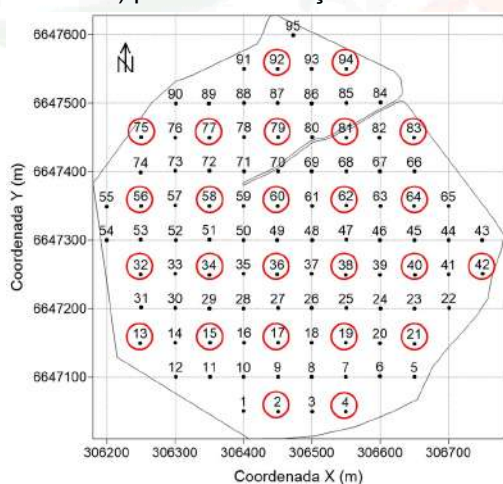
2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Cachoeira do Sul, estado do Rio Grande do Sul, em uma área comercial destinada ao cultivo de grãos em sistema de plantio direto, sob pivô central, com 25,7 hectares. O solo da região é classificado como ARGISSOLO Vermelho (EMBRAPA, 2013).

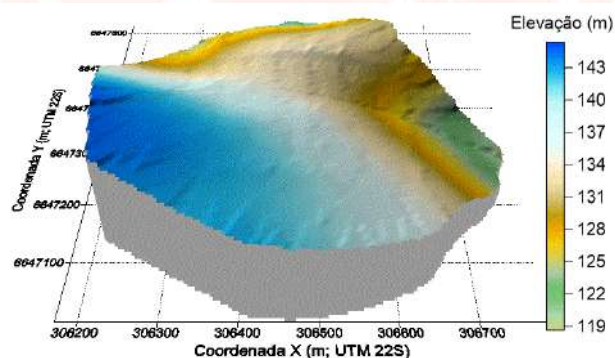
Foi estabelecida uma malha amostral composta por 95 pontos, com espaçamento regular de 50 x 50 metros. Na Figura 1 está representada a grade amostral utilizada na coleta de dados (Figura. 1A) e o modelo digital de elevação da área (Figura. 1B).

Os 95 pontos amostrais serviram de base para a coleta de dados de altitude em relação ao nível do mar, mensuração da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m^{-1}) e retirada de amostras para caracterização textural e da umidade do solo (0-20 cm). Utilizou-se um receptor GPS da marca Garmin, modelo GPSMAP 62sc para localização dos pontos amostrais na área e obtenção do valor de altitude em relação ao nível do mar.

Figura 1 – Polígono da área de estudos e pontos amostrais utilizados como base na mensuração da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m^{-1}) e coleta de amostras de solo (pontos circulado em vermelho) para determinação textural e da umidade (A) e modelo digital de elevação do terreno (B).



A



B

Fonte: Autor (2022)

Para mensuração da condutividade elétrica aparente do solo foi utilizado um medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02. A condutividade elétrica aparente do solo foi mensurada a partir do método da resistividade elétrica. A resistividade elétrica foi obtida introduzindo na superfície do solo quatro eletrodos igualmente espaçados. Nos eletrodos externos foi aplicada uma corrente elétrica e a diferença de potencial medida nos eletrodos internos. A configuração da montagem dos eletrodos foi a Matriz de Wenner, com quatro eletrodos arranjados de forma a obter medições a 0,20 m de profundidade (CORWIN; HEDRICKX, 2002; CORWIN; LESH, 2003). Foi mensurada a condutividade elétrica da área de estudos em 5

(cinco) datas, a saber: 25/05/2018; 13/11/2018; 17/11/2018; 29/09/2019 e 19/05/2020. Estas leituras serviram de base na delimitação das zonas de manejo.

A semeadura da área experimental foi realizada com uma semeadora adubadora pneumática da marca John Deere, modelo 2115, nos dias 19 e 20 de novembro de 2020. A variação dos tratamentos foi realizada automaticamente pelo equipamento, a partir da leitura de um arquivo no formato *shape file* (.shp) de prescrição de semeadura elaborado tendo como base as zonas de manejo. Após a emergência das plântulas, foram averiguadas e confirmadas as populações alvo à campo, realizando a contagem de plantas por metro de linha em três locais diferente, dentro do bloco de mesma população.

A cultivar de soja semeada foi a Brasmax Zeus (55i57 RSF IPRO), de hábito de crescimento indeterminado e GMR 5.5 com tecnologia Intacta®. A escolha do material foi feita com base no histórico e fertilidade da área, visando altas produtividades.

A colheita foi realizada no dia 10 de abril de 2021, com uma colhedora automotriz da marca New Holland, modelo CR 9060. A colhedora estava equipada com o monitor IntelliView™ IV. De acordo com o fabricante, o IntelliView™ IV é uma tela colorida, intuitiva e sensível ao toque que pode vir de fábrica integrada a diversos modelos de equipamentos New Holland. Tem compatibilidade ISOBUS total e pode ser usada tanto para controlar as funções principais do veículo quanto para executar aplicações de precisão, como a orientação automática IntelliSteer™, mapeamento conforme aplicado e controle das funções do implemento de frotas mistas de equipamentos. Seu emprego em colhedoras permite a realização do mapeamento e monitoramento de rendimento e detecção de umidade dos grãos colhidos (NEW HOLLAND AGRICULTURE, 2022). Inicialmente realizou-se uma filtragem dos dados de produtividade de soja oriundos do sistema de mapeamento da colhedora, removendo aqueles considerados discrepantes. Para identificação dos discrepantes, foi utilizado método proposto de Libardi et al. (1996).

A dependência espacial da condutividade elétrica aparente do solo foi avaliada pelo ajuste de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 1.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Onde: $\hat{\gamma}(h)$ = Semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos; h = Distância de separação entre pares de pontos, m; N (h) = Número de pares experimentais de observações Z(x_i) e Z (x_i + h) separados por uma distância h.

Uma vez detectada a dependência espacial e ajustado o modelo teórico de semivariância, foi produzido o mapa de variabilidade espacial da CEa. A interpolação de valores foi realizada utilizando krigagem ordinária. Para as estimativas de valores em locais não amostrados, foram utilizados 16 vizinhos próximos e um raio de busca igual ao valor do alcance encontrado no ajuste do variograma, de forma a garantir o intervalo de continuidade espacial. A partir dos arquivos de dados krigados, originados na análise da variabilidade espacial da CEa, foram delimitadas as zonas de manejo (ZM). Na delimitação das ZM foi considerada a variabilidade espacial da CEa medida nas cinco datas.

A análise da variabilidade espacial e a delimitação de zonas de manejo foi realizada no Sistema de Informação Geográfica (SIG) Quantum GIS (QGIS Development Team, 2020), versão 3.10.11 (A Coruña), utilizando o plugin Smart-Map, desenvolvido por Pereira et al. (2022). Foi calculado o valor mínimo, a média, o valor máximo, desvio padrão e coeficiente de variação da CEa, para cada uma das datas de leitura e para cada uma das ZM, a fim de caracterizar o

comportamento desta variável. O mesmo foi realizado para os dados de produtividade, considerando a população de plantas alocada em cada ZM.

O mapa dos blocos das diferentes populações de plantas foi sobreposto ao mapa filtrado de produtividade, oriundo da colhedora de grãos. A extração dos dados de produtividade de soja, de cada uma das diferentes populações de plantas estudadas, implantadas em cada uma das ZM, foi realizada no Sistema de Informação Geográfica (SIG) Quantum GIS. Os valores de produtividade em cada ZM foram selecionados utilizando a ferramenta “*Selecionar por localização*”. Não foi considerada a produtividade obtida nos blocos de testes das populações de plantas, apenas aquela onde a população adotada foi uniforme para toda a área, equivalente a 355.555 plantas por hectare. Os valores de produtividade de soja foram então comparados entre si, primeiramente contrastando as diferentes populações de plantas presentes na mesma ZM, posteriormente, entre populações presentes em zonas diferentes.

As análises estatísticas foram realizadas no software Statistica, versão 7 (STATSOFT, 2004). Foi calculado o valor mínimo, a média, o valor máximo, desvio padrão e coeficiente de variação da CEa, para cada uma das datas de leitura e para cada uma das ZM, a fim de caracterizar o comportamento desta variável. O mesmo foi realizado para os dados de produtividade, considerando a população de plantas alocada em cada ZM.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo da área de estudo apresentou valores médios de 340 g kg⁻¹ de argila, 460 g kg⁻¹ de areia e 200 g kg⁻¹ de silte, sendo classificado como de textura média (EMBRAPA, 2013). Na Tabela 1 é apresentado o resumo estatístico para as leituras de CEa nas cinco datas em que foram realizadas. Mesmo com valores de umidade média de solo próximos, foi observada variabilidade temporal da CEa dentro do período estudado.

Visto que, quando comparados com outras mensurações se percebe que são níveis expressivos de CEa, contrastando com o observado por Gimenez et al. (2019), que encontrou valores de CEa mais baixos, com média de 2,2 mS m⁻¹, oscilando entre 1,3 e 3,9 mS m⁻¹, com coeficiente de variação de 20,2%. Essa diferença pode ser explicada pela textura do solo, sendo a área de estudo deste trabalho mais argilosa apresentando possivelmente maior umidade no solo no decorrer do ano devido ao perfil pluviométrico da região central do Rio Grande do Sul, com inverno bastante úmido e frio.

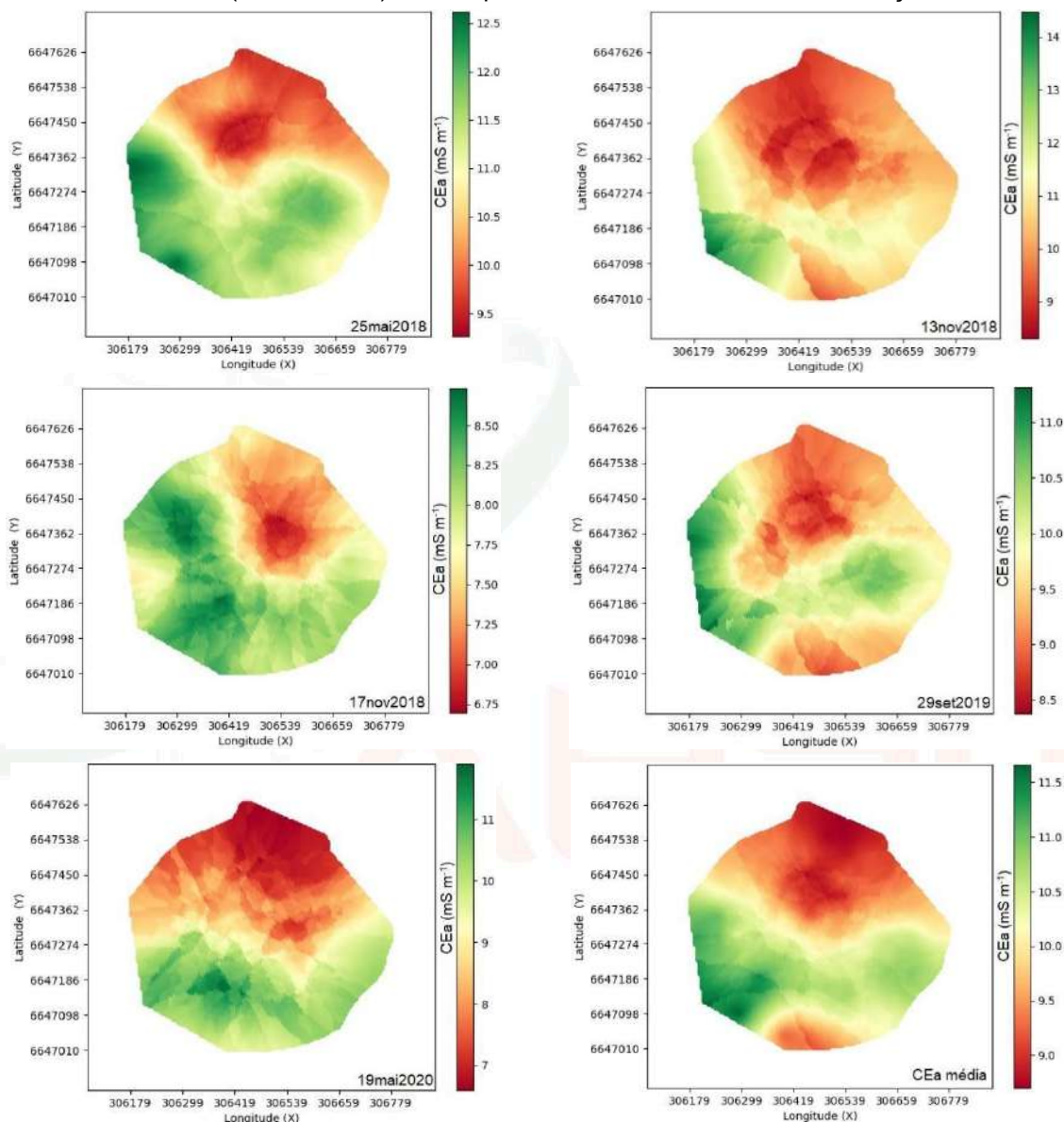
Tabela 1 – Resumo estatístico descritivo da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m⁻¹) mensurada na área de estudo em cinco datas

Leituras	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)	Umidade média (%)
25/05/2018	7,42	11,00	16,65	1,85	16,82	15,59
13/11/2018	1,87	10,54	32,46	3,66	34,73	13,73
17/11/2018	4,79	7,89	12,29	1,40	17,79	16,45
29/09/2019	1,99	9,76	16,92	2,08	21,31	13,10
19/05/2020	1,30	8,96	21,05	3,59	40,01	13,14

Na Figura 2 são apresentados os mapas temáticos representativos da variabilidade espacial da CEa para as diferentes datas de leitura. Pode ser observado que a região de baixa CEa se repetiu ao longo dos anos. O mesmo comportamento foi observado para as zonas de alta CEa. Isso pode ser justificado por variações de textura do solo, que apresenta grande interação

com a CEa (MOLIN et al., 2011), haja visto que fatores associados à química do solo sofreram alterações ao longo dos anos via manejos de fertilizantes do produtor.

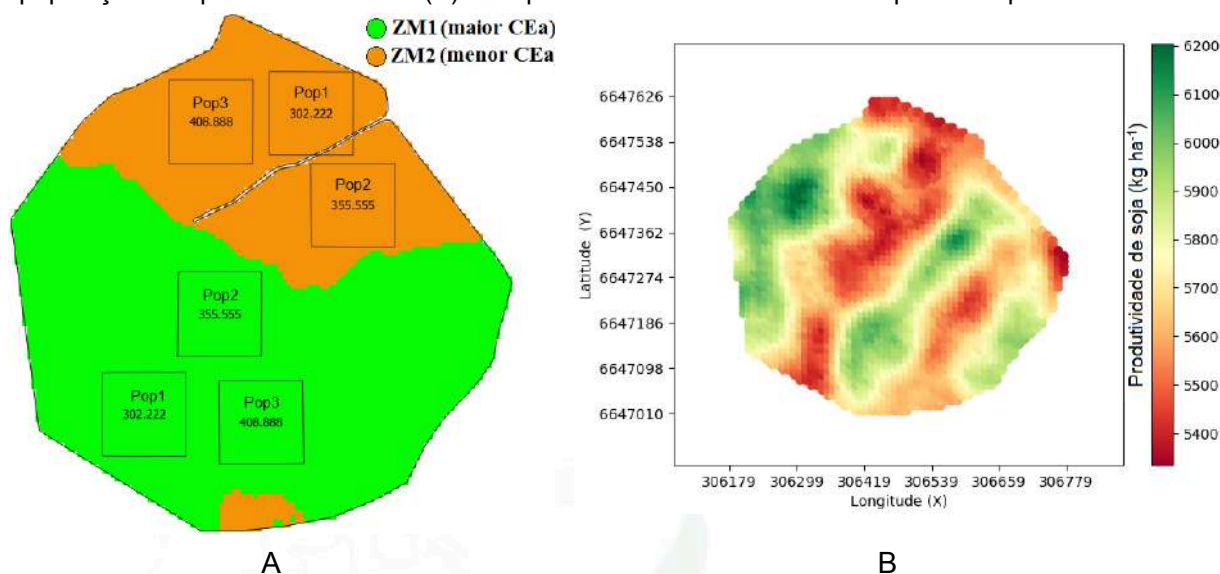
Figura 2 – Mapas temáticos representativos da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m^{-1}) obtidos para as diferentes datas de mensuração



Fonte: Autor (2022)

Na Figura 3 são apresentados os mapas de zonas de manejo com o *plot* dos blocos das diferentes populações de plantas semeadas (Figura. 3A) e o mapa temático da variabilidade espacial da produtividade de soja (Figura. 3B). A zona de manejo 1 (ZM1) representa a porção da área de estudos que apresentou maiores valores de CEa (65,1% da área) e a zona de manejo 2 (ZM2), a proporção da área com menores valores de CEa (34,9%). Nos locais fora das delimitações dos blocos, a população de plantas adotada foi aquela utilizada como padrão pela propriedade, com taxa alvo de 355.555 plantas por hectare.

Figura 3 – Mapa temático indicativo das zonas de manejo delimitadas e blocos com diferentes populações de plantas semeadas (A) e mapa temático da variabilidade espacial da produtividade de soja (B)



Fonte: Autor (2022)

Foi observado que a produtividade de soja apresentou variabilidade na área e um excelente potencial produtivo, visto que as menores produtividades mensuradas foram, aproximadamente, de 5.400 kg ha⁻¹. Estes elevados patamares de produção são recorrentes nesta área e justificados por vários fatores, sendo os principais: alta fertilidade química (mais de dez anos de uso de agricultura de precisão), sistema de semeadura direta, baixa resistência à penetração, rotação de culturas de inverno e verão, uso de culturas de cobertura e a presença da irrigação.

Na Tabela 2 é apresentado o resumo estatístico da CEa e da produtividade de soja, para as diferentes populações de plantas, cultivadas nas diferentes ZM. Foi observado que, independentemente da ZM, elevados valores de produtividade foram alcançados na área. Para ZM1 o menor valor foi 5.517,956 kg ha⁻¹ e na ZM2 foi de 5.459,04 kg ha⁻¹. Considerando apenas os menores valores de produtividade, o incremento em relação à média de produtividade estimada para o município na mesma safra foi aproximadamente de 70% (CONAB, 2021). As produtividades obtidas para cada população apresentaram comportamento uniforme dentro dos blocos tendo em vista os baixos CVs observados.

Tabela 2 – Resumo estatístico descritivo da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m⁻¹) e da produtividade de soja (PRD, kg ha⁻¹) para as diferentes populações de plantas estudadas (pop1, pop2 e pop3).

Zonas de Manejo	Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
ZM 1 (alta CEa)	CEa	5,77	10,39	16,85	1,62	15,64
	PRDpop		5.564,46			
	1	4.327	6	6.900	548,364	9,85
	PRDpop		5.517,95			
	2	4.344	6	6.950	491,259	8,90
	PRDpop		5.888,52			
	3	4.914	2	7.044	395,263	6,71

	CEa	6,82	8,57	11,99	1,38	16,07
	PRDpop					
ZM 2 (baixa CEa)	1	4.348	5.459,04	7.052	663,787	12,16
	PRDpop		5.880,63			
	2	4.404	6	7.053	528,401	8,99
	PRDpop					
	3	4.383	5.712,32	6.951	492,847	8,63

pop1= (302.222 pl ha⁻¹) pop2= (355.555 pl ha⁻¹) pop3= (408.888 pl ha⁻¹)

Já, na Tabela 3 é apresentado o resultado do teste de médias t ($p < 0,05$) para os valores de produtividade de soja (kg ha⁻¹) em diferentes populações de plantas estudadas.

Tabela 3 – Teste de médias t ($p < 0,05$) para os valores de produtividade de soja (kg ha⁻¹) para as diferentes populações de plantas estudadas (pop1, pop2 e pop3).

Interações ZM x pop	N ⁽¹⁾ grupo 1	N grupo 2	Média grupo 1	Média grupo 2	t-valor	g.l. ⁽²⁾	p-valor
ZM1pop1 x ZM1pop2	408	451	5.564,47	5.517,96	1,31	857,00	0,19
ZM1pop1 x ZM1pop3	408	533	5.564,47	5.888,52	-10,53	939,00	0,00
ZM1pop2 x ZM1pop3	451	533	5.517,96	5.888,52	-13,11	982,00	0,00
ZM2pop1 x ZM2pop2	348	478	5.459,04	5.880,64	-10,15	824,00	0,00
ZM2pop1 x ZM2pop3	348	487	5.459,04	5.712,32	-6,33	833,00	0,00
ZM2pop2 x ZM2pop3	478	487	5.880,64	5.712,32	5,12	963,00	0,00
ZM1pop1 x ZM2pop1	408	348	5.564,47	5.459,04	2,39	754,00	0,02
Interações ZM x pop	N ⁽¹⁾ grupo 1	N grupo 2	Média grupo 1	Média grupo 2	t-valor	g.l. ⁽²⁾	p-valor
ZM1pop1 x ZM2pop2	408	478	5.564,47	5.880,64	-8,72	884,00	0,00
ZM1pop1 x ZM2pop3	408	487	5.564,47	5.712,32	-4,25	893,00	0,00
ZM1pop2 x ZM2pop1	451	348	5.517,96	5.459,04	1,44	797,00	0,15
ZM1pop2 x ZM2pop2	451	478	5.517,96	5.880,64	-10,82	927,00	0,00
ZM1pop2 x ZM2pop3	451	487	5.517,96	5.712,32	-1	Continua ...	
ZM1pop3 x ZM2pop1	533	348	5.888,52	5.459,04	12,00	819,00	0,00
ZM1pop3 x ZM2pop2	533	478	5.888,52	5.880,64	0,27	1.009,00	0,79
ZM1pop3 x ZM2pop3	533	487	5.888,52	5.712,32	6,32	1.018,00	0,00

⁽¹⁾Número de pontos amostrais; ⁽²⁾Graus de liberdade

Não apresentaram diferença estatística significativa as médias de produtividade de soja observada para as populações pop1 (302.222 pl ha⁻¹) e pop2 (355.555 pl ha⁻¹), semeadas na ZM1 (maior CEa), pop2 na ZM1 e pop1 na ZM2, pop3 (408.888 pl ha⁻¹) na ZM1 e pop2 na ZM2. As produtividades destas duas últimas populações que não diferiram estatisticamente, representam as maiores produtividades observadas neste estudo, sendo obtidos 5.888,52 kg ha⁻¹ com a pop3 na ZM1 (maior CEa) e 5.880,64 kg ha⁻¹ com a pop2 na ZM2 (menor CEa).

Na Tabela 4 é apresentada uma simulação do ganho de produtividade adotando a população de plantas de melhor desempenho. Como na ZM2 a população de plantas de melhor desempenho foi também aquela adotada para todo o talhão (exceto nos blocos dos ensaios), o ganho de produtividade não foi simulado.

Tabela 4 – Estimativa de ganho de produtividade (PRD) adotando a população de plantas de melhor desempenho por zona de manejo.

	PRD pop3 ZM1 (kg ha ⁻¹)	PRD média ZM1 (kg ha ⁻¹)	Diferença de PRD (kg ha ⁻¹)	Área ZM1(ha)	Diferença de PRD ZM1 (kg)	Diferença de PRD em sacas
ZM 1	5.888,52	5.731,45	157,07	16,73	2.627,78	43,80

Conforme apresentado na Tabela 3, para a ZM1 a população de plantas que apresentou a maior produtividade foi a pop3 (408.888 pl ha⁻¹), sendo estimada em 5.888,52 kg ha⁻¹. A produtividade obtida nesta ZM1, estimada excluindo-se os blocos de testes das populações de plantas, foi de 5.731,45 kg ha⁻¹, portanto, 157,07 kg ha⁻¹ a menos. A ZM1 apresentou área de 16,73 ha, que multiplicados pela diferença de produtividade, equivale a 2.627,78 kg de soja, ou 43,80 sacos a mais na produção do talhão. A possibilidade estimada de ganho em produtividade a partir do aumento de população na ZM1, indica que existem áreas de alto potencial que tem resposta positiva a esta variação. E se considerando que a CEa conseguiu delimitar essas zonas, torna-se esta uma ferramenta bastante útil para a tomada de decisão do produtor.

Dois pontos importantes a serem levados em consideração são o material genético utilizado e a época de semeadura. No caso deste estudo, a cultivar Brasmax Zeus IPRO® possui uma característica muito marcante, que é a de baixa propensão ao engalhamento e maior dependência de populações mais elevadas. Quando se analisa a época de semeadura se percebe que se enquadra como final da janela indicada para o material na região, fator este que também tende a privilegiar a busca por populações maiores.

4. CONCLUSÃO

Na zona de manejo de alta CEa obteve-se uma maior produtividade de soja ao se utilizar uma maior população de plantas (408.888 pl ha⁻¹), ao passo que, na zona de menor CEa foi observada maior produtividade para a população de plantas intermediária (355.555 pl ha⁻¹).

Neste trabalho foi observado que na zona de maior CEa a maior população de plantas respondeu de forma significativa em produtividade, enquanto na zona de menor CEa, o comportamento foi contrário.

Sugere-se que mais estudos relacionados ao ajuste populacional de plantas da cultura da soja, em função da delimitação de zonas de manejo com base na variabilidade espacial da CEa, sejam conduzidos, com vistas a validar este método de tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa ConnectFARM e a Agropecuária Barufaldi pela parceria no desenvolvimento deste trabalho, a partir do fornecimento de dados, equipamentos e de toda logística utilizada na realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- COOPERATIVE EXTENSION SERVICE AMES. **How a soybean plant develops**. Ames : Iowa State University of Science and Technology, 1994. 20p.
- DOBERMANN, A.; GOOVAERTS, P.; NEUE, H. U. **Scale-dependent correlations among soil properties yield maps**. *Agronomy Journal*, v.96, n.1, p. 285-297, 2004.
- Bottega, E.L.; Safanelli, J.L.; Zeraatpisheh, M.; Amado, T.J.C.; Queiroz, D.M.d.; Oliveira, Z.B.d. **Site-Specific Management Zones Delineation Based on Apparent Soil Electrical Conductivity in Two Contrasting Fields of Southern Brazil**. *Agronomy* 2022, 12, 1390. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061390>
- Bottega, E.L.; Marin, C.K.; Oliveira, Z.B.d.; Lamb, C.d.C.; Amado, T.J.C. **Soil Density Characterization in Management Zones Based on Apparent Soil Electrical Conductivity in Two Field Systems: Rainfed and Center-Pivot Irrigation**. *AgriEngineering* 2023, 5, 460-472. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5010030>
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. **Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines**. *Agronomy Journal*, v.95, n. 3, p. 471-471. 2003.
- KING, J.; DAMPNEY, P.; LARK, R.; WHEELER, H.; BRADLEY, R.; MAYR, T. **Mapping potential crop management zones within fields: use of yield-map series and patterns of soil physical properties identified by electromagnetic induction sensing**. *Precision Agriculture*, v. 6, p. 167-181, 2005.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. 353p. 2013.
- CORWIN, D.L.; HENDRICKX, J.M.H. Electrical Resistivity: Wenner Array. In: SILVA, J.S. **Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods**, Madison, Wisconsin, USA : SSSA Book Series, n. 5, p.1282-1287. 2002.
- NEW HOLLAND AGRICULTURE. Agricultura de precisão. 9p. Acesso em: 17/06/2022. Disponível em: <https://assets.cnhindustrial.com/nhag/lar/pt-br/assets/PLM/Telas-PLM/NHAG_FOLHETO_COMPLETO.pdf>
- LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. TUON, R.L. **Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 20, n.1, p. 1-12, 1996.
- PEREIRA, G.W.; VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.d.; COELHO, A.L.d.F.; COSTA, M.M.; GRIFT, T. **Smart-Map: An open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging**. *Agronomy*, v.12, n.6: 1350, 2022.
- STATSOFT, Inc. STATISTICA (data analysis software system), version 7. 2004. www.statsoft.com.
- GIMENEZ, L. M.; CORTINOVE, L.; LEAL, M. **Níveis de adubação e população de plantas de soja avaliados sob a perspectiva do manejo localizado**. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 11, p. 26116-26121, 2019.
- MOLIN, J.P.; RABELLO, L.M. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. *Engenharia Agrícola* [online]. 2011, v. 31, n. 1 [Acessado 30 Maio 2022] , pp. 90-101. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100009>>. Epub 16 Mar 2011. ISSN 1809-4430. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100009>.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: Agosto de 2023.

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE OCTABORATO DE SÓDIO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DA CULTURA DA SOJA

Effects of application of sodium octaborate at different stages of soybean crop

Rauéli Larissa Barboza¹; Adalin Cezar Moraes de Aguiar¹

¹ Instituto de Desenvolvimento Educacional de Passo Fundo - IDEAU, Av. Rui Barbosa 103, 99050-120, Passo Fundo – RS, Brasil, e-mail da autora correspondente: ra_uelibarboza@hotmail.com

RESUMO

Sabe-se da importância dos nutrientes para o desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max*), o micronutriente boro especificamente está ligado a diversos ciclos do crescimento e desenvolvimento da planta. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a melhor época de aplicação de octaborato de sódio na cultura da soja. Foi conduzido o experimento a campo com seis tratamentos, sendo a testemunha o tratamento um, e outros cinco tratamentos com aplicação da mesma dose de boro, 2 kg.ha⁻¹, na forma de octaborato de sódio em diferentes estádios fenológicos da soja com a cultivar GH5933 IPRO, o tratamento dois foi aplicado via solo no dia da semeadura, os tratamentos três, quatro, cinco e seis foram feitos via foliar nos estádios fenológicos V5, R1, R3 e R5 respectivamente, a fim de verificar qual período obteve maior incremento na produtividade da soja. Para obtenção dos resultados foram realizados testes de teor de boro foliar, número de legumes, número de grãos por legume, número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade. O tratamento dois, via solo, obteve maior produtividade, sendo a forma mais indicada para a aplicação de octaborato devido a sua maior mobilidade via xilema.

Palavras-chave: Boro. *Glycine max*. Produtividade.

ABSTRACT

The importance of nutrients for the development of soybean crops (*Glycine max*) is known. The micronutrient boron is specifically linked to several cycles of plant growth and development. This work aimed to evaluate the best time to apply sodium octaborate to soybean crops. The field experiment was conducted with six treatments, with treatment one being the control, and five other treatments with application of the same dose of boron, 2 kg.ha⁻¹, in the form of sodium octaborate at different phenological stages of soybean with the cultivar GH5933 IPRO, treatment two was applied via soil on the day of sowing, treatments three, four, five and six were applied via foliar at phenological stages V5, R1, R3 and R5 respectively, in order to verify which period obtained the greatest increase in soybean productivity. To obtain the results, tests were carried out on leaf boron content, number of legumes, number of grains per vegetable, number of grains per plant, mass of one thousand grains and productivity. Treatment two, via soil, achieved greater productivity, being the most suitable form for octaborate application due to its greater mobility via the xylem.

Keywords: Boron. *Glycine max*. Productivity.

1. INTRODUÇÃO

A soja é a principal planta cultivada no verão no estado do Rio Grande do Sul, o qual é o terceiro maior produtor do Brasil, sendo uma cultura onde se busca sempre um maior teto produtivo por ser uma cultura com grande viabilidade econômica (NUNES, 2022). Para que se possa atingir altas produtividades, além dos fatores climáticos, um dos fatores mais importantes é

a disponibilidade dos macros e micronutrientes, os quais estando em déficit influenciam diretamente na produtividade da lavoura. O rendimento da soja então está intimamente relacionado não apenas aos macronutrientes, mas também aos micronutrientes (como o boro), os mesmos estão envolvidos especificamente nas fases reprodutivas e de crescimento das plantas e, portanto, determinam a produtividade e o desempenho da colheita, funcionando para maximizar o rendimento (ALVARENGA, 2020).

O micronutriente boro atua diretamente no crescimento, desenvolvimento das plantas, o que impacta diretamente na produtividade pois ele vai atuar na retenção da florada tendo por consequência o aumento do número de vagens, também atua na síntese de compostos como DNA e RNA e em proteínas, estimula o desenvolvimento de raízes, atua juntamente com o cálcio na formação da parede celular e proporciona uma melhoria no rendimento dos grãos (MARSCHNER, 2011).

Existem múltiplos fatores referentes ao solo que afetam diretamente a disponibilidade de boro nas soluções do solo. Um dos fatores de maior relevância é o pH do solo, o qual na faixa de pH de 5 a 9, a forma predominante de boro nas soluções do solo é o H_3BO_3 molecular não ionizada, por ser uma molécula em vez de um íon, o elemento em solução permanece altamente móvel no solo e, portanto, pode ter altas taxas de lixiviação nessas condições. Outros fatores são: a textura do solo, devido ao fato de parte do boro no solo ser adsorvido por partículas de argila com maior ou menor energia da adsorção, em geral, solos com textura mais argilosa tendem a apresentar maior competência de adsorção de boro, bem como maiores teores de boro total do que solos arenosos, onde muitas vezes se observa uma maior tendência à perda de nutrientes. (BOLOGNA, 2003); a matéria orgânica, por meio da qual o boro é liberado nas soluções do solo por meio da mineralização, sendo o principal reservatório de boro no solo, em condições de baixa disponibilidade hídrica ocorre a redução da taxa de mineralização da matéria orgânica, o que afeta diretamente a disponibilidade de boro nas soluções do solo, afetando o crescimento das raízes. (ABREU, 2007).

São diversas as formas de boro disponibilizadas no mercado, porém não se tem um estudo que demonstre em qual estágio/época deve ser aplicado para obter-se um maior retorno produtivo. Busca-se neste trabalho avaliar a melhor época de aplicação de octaborato de sódio na cultura da soja para fins de incremento na produtividade e qual aplicação acarretará em maior produção da cultura, levando em conta aplicações no dia da semeadura, no período vegetativo e no período reprodutivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A cultura foi implantada no município de Não-Me-Toque, no estado do Rio Grande do Sul, em solo latossolo vermelho distrófico, em área de pastagem, a descrição da fertilidade deste solo é descrita na Tabela 1. Se utilizou a dose de octaborato de sódio de 2 kg.ha^{-1} , sendo 20,5% de boro, o que equivale a 410 gramas de boro, a qual foi usada como dosagem padrão para todas as aplicações.

Foram feitos 6 níveis do tratamento com 5 repetições cada, sendo: T1 a testemunha (sem aplicação de octaborato), T2 “semeadura” (com aplicação de octaborato via solo, no dia da semeadura), T3 “V5” (aplicação de octaborato via foliar em período vegetativo V5, onde é estabelecido o número total de nós que a planta pode produzir), T4 “R1” (aplicação de octaborato via foliar em período reprodutivo R1, no início do florescimento, visando maior pegamento de flores), T5 “R3” (aplicação de octaborato em período reprodutivo R3, no início do desenvolvimento das vagens/legumes, visando maior formação de legumes), T6 “R5” (aplicação de octaborato em

período reprodutivo R5, no início do enchimento de grãos, visando maior número de grãos por planta).

Tabela 1 - Análise do solo de 0 a 20 centímetros da área de implantação do experimento.

pH Água	Centimol de carga por decímetro cúbico						Miligrama por decímetro cúbico	(%)
	Al ¹	Ca ²	Mg ³	H+Al ⁴	CTC ⁵ (pH 7,0)	CTC ⁵ (efetiva)	K ⁶	Bases (V%) ⁷
5,58	0,00	5,73	2,78	5,61	14,37	8,76	99	60,98
% (m/v) ⁸		Miligrama por decímetro cúbico						
MO ⁹	Argila	P ¹⁰	S ¹¹	B ¹²	Cu ¹³	Zn ¹⁴	Mn ¹⁵	
2,9	52	36	6,4	0,63	4,39	6,08	70,9	

(¹) Alumínio; (²) Cálcio; (³) Magnésio; (⁴) Acidez potencial (hidrogênio + Alumínio); (⁵) Capacidade de troca catiônica; (⁶) Potássio; (⁷) Saturação de bases; (⁸) porcentagem de massa por volume; (⁹) Matéria orgânica; (¹⁰) Fósforo; (¹¹) Enxofre; (¹²) Boro; (¹³) Cobre; (¹⁴) Zinco; (¹⁵) Manganês.

Fonte: LABFERTIL (2022)

A cultura foi implantada na primeira semana de dezembro de 2022, com a cultivar GH5933 IPRO, uma cultivar de alto rendimento, com raízes agressivas, de ciclo 6,1, a qual foi semeada na área completa. A área da implantação foi dessecada e adubada juntamente com a semeadura. O delineamento utilizado foi de blocos inteiramente casualizados.

No T2 foi aplicado octaborato de sódio no mesmo dia da semeadura, o T3 foi aplicado quando mais de 75% das plantas estavam em V5, no T4 foi aplicado octaborato quando ao menos 75% das plantas estavam em estágio R1, no T5 foi aplicado quando mais de 75% das plantas estavam em R3 e no T6 onde as plantas estavam em R5, na Tabela 2 podem ser vistas as datas de aplicação referentes a cada tratamento, todas as aplicações foram realizadas utilizando pulverizador costal manual, com volume de calda de 100 L.ha⁻¹.

Foi aplicado o glifosato para o controle de plantas daninhas trinta e três dias após a emergência, o manejo de pragas e doenças foi feito com picoxistrobina+ciproconazol, bifentrina+carbossulfano, abamectina 47 dias após a emergência, sendo o primeiro tratamento de fungicidas e inseticidas em área total, o segundo tratamento em área total foi feito 68 dias após a emergência com bixafem+protiocanazol+trifloxistrobina, clorotalonil, bifentrina+carbossulfano, abamectina, o terceiro tratamento em área total de fungicidas e inseticidas ocorreu 80 dias após a emergência com bixafem+protiocanazol+trifloxistrobina, clorotalonil, abamectina, triflomuron, tiametoxam+lambd-cialotrina. O total de precipitação pluviométrica após a semeadura foi de 529 milímetros durante o ciclo da cultura.

Para os resultados foram coletados dados da quantidade de vagens/legumes, número de grãos por vagem/legume, total de grãos por planta, a MMG e a produtividade total e feita análise do teor de boro foliar. A quantidade de vagens/legumes por planta foi determinada com a contagem do número total de legumes de cinco plantas por repetição totalizando 150 plantas analisadas. O número de grãos por vagem/legume e o total de grãos por planta foi feito utilizando as mesmas plantas da contagem de legumes por planta. Foi observado também o número de

grãos por legume e feita a contagem de quantos legumes possuem 1,2,3, e 4 grãos usando as plantas já coletadas. A MMG ou peso de mil grãos foi obtida com os grãos das plantas coletadas.

A produtividade total foi feita utilizando a MMG, o total de grãos por planta e a população de plantas por metro quadrado para fazer a estimativa em quilos por hectare. Para a análise do teor de boro foliar foi feita a coleta de 30 folhas com pecíolo para cada uma das análises, sendo feitas 3 análises por tratamento, totalizando 18 análises, utilizando a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Após os dados foram submetidos a análise de variância e quando esta foi significativa, as médias foram comparadas por meio do Teste de Tukey a 5% de significância, com o programa SASMI-Agri.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Referentes aos teores de boro foliar pode-se perceber a aplicação de octaborato diferiu das demais apenas no T6, com um coeficiente de variação de 7,32% (Tabela 2).

Tabela 2 - Teores de boro foliar de plantas de soja em função da aplicação de octaborato de sódio em diferentes estádios da cultura.

Tratamento	Teores de boro Mg.kg ⁻¹
T1 Testemunha	48,96 b*
T2 "semeadura"	57,44 b
T3 "V5"	50,27 b
T4 "R1"	51,02 b
T5 "R3"	55,30 b
T6 "R5"	70,56 a
Coeficiente de Variação (%)	7,32

*Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autores (2023)

As classificações de teor de boro são consideradas, muito baixo <10 mg.kg⁻¹, baixo 10 a 20 mg.kg⁻¹, suficiente de 20 a 55 mg.kg⁻¹, alto de 55 a 80 mg.kg⁻¹ e excessivo >80 mg.kg⁻¹, por um método de faixas, que compara o uso de tabelas de concentração de nutrientes, onde podem ser identificados os nutrientes que afetam a produtividade da soja. (EMBRAPA, 2008).

No xilema, tecido o qual absorve a solução do solo e a distribui para as partes aéreas da planta, o boro é móvel e pode ser transportado nos vasos condutores (MACHADO, 2022). O que demonstra que o T6, o qual foi o último tratamento a receber aplicação com boro via foliar, obteve altos níveis de boro devido à baixa translocação via floema, permanecendo concentrado nas folhas que receberam a aplicação. Os demais tratamentos não diferiram entre si significativamente, mesmo com o coeficiente de variação de 7,32%. O T1 "testemunha" obteve o menor teor de boro foliar e o T2 "semeadura" o segundo maior teor, porém não diferiram significativamente entre si.

Em relação ao total de legumes por planta pode-se perceber a aplicação de octaborato não acarretou diferença significativa, mesmo com o baixo coeficiente de variação sendo o mesmo de 4,68% sob teste de Tukey, porém referente a quantidade de legumes com um, dois ou três grãos

houve diferenciação entre os tratamentos, já referente ao total de grãos por planta, foi obtido um coeficiente de variação de 5,14% e não houve diferenciação significativa (Tabela 3).

Tabela 3 - Total de legumes por planta, grãos por legume e grãos por plantas de soja, em função da aplicação de octaborato de sódio em diferentes estádios da cultura.

Tratamento	Legumes por planta	Médias por planta de legumes com				Grãos por planta
		1 grão	2 grãos	3 grãos	4 grãos	
T1 Testemunha	85,2 ns*	7,68 a**	31,8 a	44,72 b	0,04 ns	208,2 ns
T2 "semeadura"	83,92	5,6 ab	30,6 a	47,68 b	0,08	209,96
T3 "V5"	82,64	3,32 b	21,72 b	59,64 a	0	221,68
T4 "R1"	80,28	3,48 b	16,84 b	60,04 a	0	217,36
T5 "R3"	82	4,12 b	23,56 ab	53,92 ab	0	213,78
T6 "R5"	79,56	4,04 b	16,64 b	58,68 a	0	213,6
Coeficiente de Variação (%)	4,68	36,36	18,57	9,16	374,17	5,14

*Médias não diferiram significativamente sob Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autores (2023)

A testemunha (T1) obteve um maior número de legumes por planta, porém um menor número de grãos por planta devido a maioria dos seus legumes conterem um ou dois grãos, o T2 não diferiu da testemunha em nenhum dos componentes de rendimento demonstrados na Tabela 3. O boro está associado ao grão de pólen viável e ao crescimento do tubo polínico. Estudos demonstraram que em culturas como a soja, em altas concentrações nos estigmas e estiletes, o B inativa fisiologicamente a calose formando complexos borato-calose, promovendo a floração e a formação de grãos e reduzindo o número de vagens murchas (ZAMPAR et al., 2020).

Raimundi et al. (2013) e Kappes et al. (2008) observaram que os melhores resultados de componentes de produção foram obtidos quando o boro foi aplicado via foliar entre os estádios V6 e R5, isso porque nessas fases são precisos maiores volumes de boro para o enchimento de grãos. Já em discordância, na safra 2016/17 Silva et al. (2020) não verificou diferença no número de vagens e no número de sementes por vagem nas diferentes aplicações via solo e foliar entre os tratamentos com aplicações de B, isso devido ao índice pluviométrico elevado e concentração de boro no solo, já na safra anterior Silva et al. (2020), melhor número de vagens por planta foi observado para o foliar de boro aplicado no estádio R1, atingindo 83,2 vagens, seguido pelos tratamentos V4+R1 e B + NPK, com 69,75 e 65,75 vagens.

Pontes (2019) analisando aplicação de boro via foliar, observou diferença estatística em relação à testemunha, quanto a quantidade de grãos por vagens, o qual proporcionou melhores resultados em relação às vagens de dois, três e quatro grãos, o que considera ser o buscado na prática, mirando melhores produtividades, em seu estudo, a testemunha obteve apenas maior número de vagens com um grão.

Em relação a massa de mil grãos pode-se perceber que a aplicação de octaborato não levou a diferença significativa sob teste de Tukey com 5% de grau de significância, porém a aplicação na semeadura garantiu um MMG mais elevado (Tabela 4).

Tabela 4 - Massa de mil grãos (MMG) em função da aplicação de octaborato de sódio em diferentes estádios da cultura da soja.

Tratamento	Massa de mil grãos (gramas)
T1 Testemunha	123,4 ns*
T2 “semeadura”	130,0
T3 “V5”	120,8
T4 “R1”	121,2
T5 “R3”	124,6
T6 “R5”	123,2
Coeficiente de Variação (%)	4,73

*Médias não diferiram significativamente sob Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

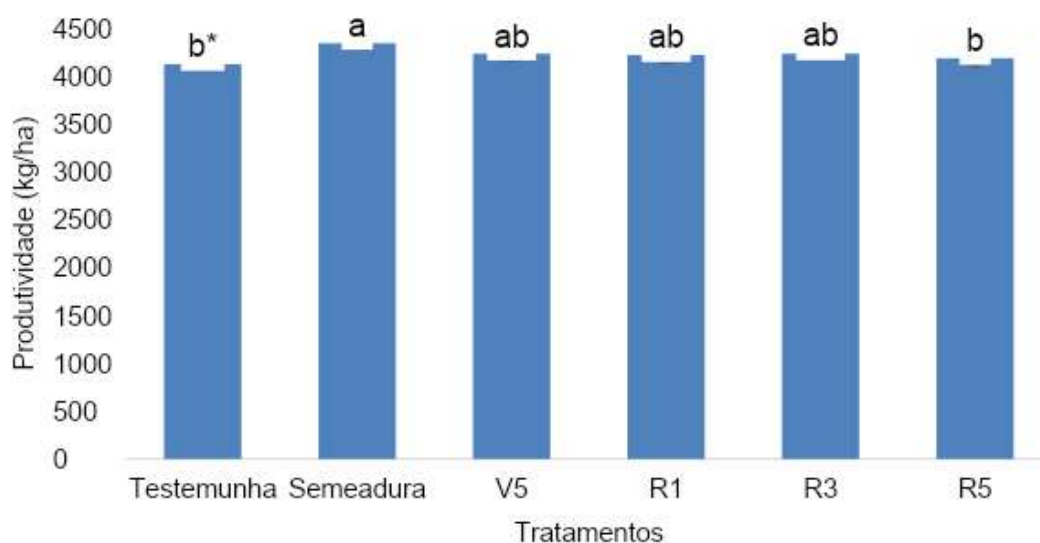
Fonte: Autores (2023)

Segundo Raimundi et al. (2013) em estudo observando a massa de mil grãos com a aplicação de boro na via solo e via foliar, a aplicação via solo isolada obteve uma massa maior do que a aplicação via foliar de boro isolada, o que se parece com os resultados obtidos. Mesmo que o número de grãos em áreas com deficiência de boro não diminuísse, as sementes originadas daquelas plantas cultivadas em condições de deficiência de boro deram uma proporção maior de plântulas anormais, apesar das sementes terem o mesmo peso final (ALMEIDA, 2015).

Kappes et al. (2008) não observou diferença significativa com relação à massa de cem grãos em estudo avaliando doses e épocas de aplicação via foliar de boro em soja. Embora o boro agir também na translocação de açúcares (MALAVOLTA et al., 2002) para órgãos propagativos, não foram observados resultados com diferenças significativas a respeito da massa de mil grãos.

Referente aos resultados obtidos sobre a produtividade em Kg.ha^{-1} o T2 obteve os melhores resultados diferindo significativamente dos tratamentos T1 “testemunha” e do T6 “R5”, porém não diferindo significativamente dos tratamentos T3 “V5”, T4 “R1” e T5 “R3”, os quais não diferiram significativamente de nenhum resultado obtido sob teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro (Figura 1).

Figura 1 - Produtividade em função da aplicação de octaborato de sódio em diferentes estádios da cultura da soja.



*Letras indicando Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro a um coeficiente de variação de 1,61%.
Fonte: AUTOR (2023)

O T2 “semeadura” obteve a maior produtividade sendo de 72,5 sc.ha⁻¹ com um incremento de 3,6 sacos (5,1%), diferindo significativamente em relação a testemunha (T1) a qual obteve um total de 68,8 sc.ha⁻¹. Os tratamentos T3 “V5”, T4 “R1” e T5 “R3”, obtiveram produtividades em sacos por hectare de respectivamente, 70,6, 70,4 e 70,7, não diferindo significativamente em relação ao T2 “semeadura” e ao T1 “testemunha”, mesmo obtendo incrementos respectivos de 1,8 sc.ha⁻¹ (2,6%), 1,6 sc.ha⁻¹ (2,3%) e 1,9 sc.ha⁻¹ (2,7%) em relação a testemunha. O T6 “R5” não diferiu da testemunha obtendo uma produtividade de 69,9 sc.ha⁻¹, sendo apenas 1,1 sc.ha⁻¹ (1,6%) a mais que o T1 “testemunha”, o mesmo diferiu significativamente do tratamento mais produtivo, o T2.

Kappes et al. (2008) não obteve resultados significativos de produtividade com a aplicação de boro via foliar em relação a testemunha, o que se assemelha aos dados obtidos das aplicações foliares neste estudo. Avaliando a resposta de soja com a cultivar syn-3358 a dessemelhantes momentos de aplicação de boro, Raimundi et al. (2013) observou que a aplicação de boro aumentou a produtividade da soja independente da forma de adubação e/ou época de adubação.

Dantas e Sako (2022) observaram em experimento com aplicação de dois quilos de octaborato de sódio em vinte e um ambientes de produção obtiveram acréscimo de 1 a 11 sc.ha⁻¹ de soja, estes ocorreram em solos com teor de boro variando entre 0,59 a 1,43 mg.dm³.

Fagliari (2021) aplicando octaborato na dessecação, obteve incremento na produtividade de 0,9 sacos por hectare. Em estudo verificando diferentes fontes de boro ocorreu diferenças significativas entre os tratamentos na produtividade da soja, onde a aplicação de 2,5 kg.ha⁻¹ diferiu estatisticamente do tratamento controle e apresentou maior produtividade final, sendo ela de 77,62 sc.ha⁻¹, sendo 11,52 sc.ha⁻¹ a mais que o controle (RIBEIRO et al., 2019).

Alves (2020) analisando fontes de boro via solo e incremento de produtividade em milho safrinha e produtividade acumulativa, obteve que, o tratamento com octaborato de sódio obteve 46 sacas a mais que o controle, sendo o melhor resultado, considerando a melhor fonte para incremento de produção o octaborato de sódio; sobre a produtividade acumulativa considerando duas safras de soja e duas safrinhas de milho, o tratamento com a fonte de octaborato de sódio produziu 69 sacas mais que o controle avaliando os 2 anos de condução do experimento, obtendo resultados superiores as fontes ácido bórico, ulexita e tetraborato de sódio pentahidratado.

4. CONCLUSÃO

A aplicação de octaborato via solo no método “semeie-aplique” resultou em maior incremento na produtividade da cultivar GH5933 IPRO, devido à maior mobilidade do boro no xilema e sua MMG ser a mais elevada, mesmo sem diferir significativamente dos demais tratamentos via foliar, sendo então a época mais indicada para aumentar a produtividade.

As aplicações de octaborato via foliar incrementaram a produtividade de forma não significativa em relação à testemunha devido à baixa mobilidade do boro no floema.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. A. de. Micronutrientes. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/ UFV, 2007. p. 645-736.

ALMEIDA, J. C. V. **Atenção aos micronutrientes: o Boro.** 2015. LABORSOLO. Disponível: <[ALVARENGA, A. **Uso do Boro na produção de soja e milho: principais características.** 2020. Reagro blog. Disponível em: <<https://reagro.com.br/blog/uso-de-boro-na-produtividade-de-milho-e-soja/>> Acesso em: 17/05/2022.](https://www.laborsoloacademy.com.br/plantas/atencao-aos-micronutrientes-o-boro/#:~:text=No%20entanto%2C%20as%20rela%C3%A7%C3%B5es%20entre%20a%20nutri%C3%A7%C3%A3o%20com,ra%C3%ADzes%20os%20mesmos%20efeitos%20da%20defici%C3%Aancia%20de%20Boro.> Acesso em: 09/05/2023.</p></div><div data-bbox=)

ALVES, J. V. **FE-01 DIFERENTES FONTES DOSES E MOMENTOS DE APLICAÇÃO DE BORO.** 2020. Gapes. Disponível em: <<https://www.sulboro.com.br/site/wp-content/uploads/2022/12/FontesBGapes.pdf>> Acesso: 10/05/2023.

BOLOGNA, I. R. **Adubação boratada em pomar de laranja Pêra Rio afetado pela clorose variegada dos citros.** 2003. 78 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2003.

DANTAS, J.; SAKO, H. **Protocolo: Avaliação da dose resposta de Octaborato em 21 diferentes Ambientes de Produção.** 2022. DK ciência agrônômica. Disponível em: <<https://www.sulboro.com.br/site/wp-content/uploads/2022/12/DK-Avaliacao.pdf>> Acesso em: 10/05/2023.

EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010. Londrina, **Embrapa Soja**, Sistemas de Produção, 13 .2008. 261 p.

FAGLIARI, J. R. **Como manter a nutrição equilibrada durante todo o ciclo da soja.** 2021. Revista Cultivar. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/como-manter-a-nutricao-equilibrada-durante-todo-o-ciclo-da-soja>> Acesso: 10/05/2023.

KAPPES, C.; GOLO, A. L.; CARVALHO, M. A. C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agrônômicas e na qualidade de sementes de soja. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 291-297, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/rsa.v9i3.11563>> Acesso: 08/05/2023.

MACHADO, A. W. **Boro - tudo o que você precisa saber sobre este adubo.** 2022. AGROLINK. Disponível em: <[MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações.** São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.](https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes/boro_467225.html#:~:text=Para%20a%20grande%20maioria%20das%20plantas%2C%20o%20boro,necessidades%20em%20outras%20partes%20mais%20novas%20da%20planta.> Acesso em: 03/05/2023.</p></div><div data-bbox=)

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants.** 3.ed. London, U.K.:Academic Press, 2011. 672 p.

NUNES, R. **Nutrição de cultivos em tempos de custos elevados dos fertilizantes.** 2022. Famato Embrapa.

<https://sistemafamato.org.br/famatoembrapashow/wp-content/uploads/sites/5/2022/03/3-FAMATO_RAFAEL-NUNES.pdf> Acesso em: 02/06/2023.

PONTES, F. C. **Qual a relação do Boro com a produtividade?**. 2019. Campo & negócios online. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/qual-a-relacao-do-boro-com-a-produtividade/>> Acesso em: 09/05/2023

RAIMUNDI, D. L.; MOREIRA, G. C.; TURRI, L. T. MODOS DE APLICAÇÃO DE BORO NA CULTURA DA SOJA. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.6, n.2, p.112-121, 2013.

RIBEIRO, R. A. et al. **RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA A APLICAÇÃO DE BOROTOP COMO FONTE DE BORO NA SAFRA 2018/2019**. 2019. MS integração. Disponível em: <<https://www.sulboro.com.br/site/wp-content/uploads/2022/12/RelatorioBorotopMS-INTEGRACAO.pdf>> Acesso em: 10/05/2023.

SILVA, R. C. D. et al. DOSES, METHODS AND TIMES OF APPLICATION OF BORON IN SOYBEAN UNDER FIELD CONDITIONS. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 6, p. 1999-2006, 2020.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico n. 5).

ZAMPAR, É. J. O. et al. **Aplicação de boro: Com a soja se comporta?** 2020. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/aplicacao-de-boro-com-a-soja-se-comporta/>> Acesso em: 08/05/2023.

ZONAS DE MANEJO A PARTIR DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E A RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO

Management zones from the spatial variability of soil attributes and the relation with the productivity of irrigated rice

Matheus da Silva Costa¹; Pedro Trevisan Hamman²; Zanandra Boff de Oliveira²; Eduardo Leonel Bottega²; Leonardo Baldissera Maffini¹; Carlos Eduardo Da Silva¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Rod. Taufik Germano nº 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, matheussilva.costa01@gmail.com, leomaffini79@gmail.com, dasilvakadu03@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação Em Agricultura De Precisão Colégio Politécnico - Prédio 70, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil, zanandrabofoff@gmail.com, eduardo.bottega@ufsm.br, pthamann@gmail.com.

RESUMO

A produtividade em áreas agrícolas está diretamente relacionada à variabilidade do solo. Assim, este estudo objetivou avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo, estabelecer zonas de manejo (ZM) e relacionar com a produtividade do arroz irrigado em área de várzea no município de Cachoeira do Sul-RS no ano agrícola 2022-23. Estipulou-se um grid amostral de 1 ha para coleta das informações e a cultivar IRGA 424 RI foi semeada no 8/11/2022 e a colheita realizada no dia 13/03/2023 em 33 pontos, distribuídos em função das ZM delimitadas previamente a partir da condutividade elétrica (CEa). Utilizou-se a ferramenta Smart-Map no QGIS versão 3.10.1 para realizar a análise geoestatística e análise das ZM para cada atributo que apresentou dependência espacial, após fez-se a análise da produtividade por ZM. A CEa apresenta-se como uma promissora ferramenta para integrar a AP, uma vez que se mostra eficiente para refletir a variação espacial da área experimental. Atributos como: argila, Ca, Mg e CTC demonstraram comportamentos diretamente proporcionais à CEa. Em contraste, à produtividade, apresentou comportamento inversamente proporcional a CEa.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. *Oryza sativa* (L.). Zonas de manejo.

ABSTRACT

Productivity in agricultural areas is directly linked to soil variability. Therefore, this study aimed to evaluate the spatial variability of soil attributes, establish management zones (MZ), and correlate them with the productivity of irrigated rice in a floodplain area in Cachoeira do Sul-RS municipality during the 2022-23 agricultural year. A 1-hectare sampling grid was established for data collection, and the IRGA 424 RI cultivar was sown on 11/8/2022, with harvest on 3/13/2023, at 33 points distributed based on the MZ previously defined using electrical conductivity (CEa). The Smart-Map tool in QGIS version 3.10.1 was employed for geostatistical and MZ analysis for each attribute showing spatial dependence, followed by productivity analysis for each MZ. CEa emerges as a promising tool for integrating Precision Agriculture (AP), effectively reflecting the spatial variation in the experimental area. Attributes such as clay, Ca, Mg, and CTC demonstrated behaviors directly proportional to CEa. In contrast, productivity displayed an inversely proportional relationship to CEa.

Keywords: Precision agriculture. *Oryza sativa* (L.). Management zones.

1. INTRODUÇÃO

O arroz é um cereal altamente cultivado e consumido globalmente devido a várias razões. Ele é um alimento básico vital para mais de três bilhões de pessoas, posicionando-se como o segundo cereal mais cultivado globalmente, superado apenas pelo milho e precedendo o trigo. Além disso, tem importância econômica e social significativa em nações densamente povoadas. O arroz possui valor nutricional notável, sendo um alimento bem equilibrado em termos de nutrientes. Em média, fornece 20% da energia e 15% da proteína per capita necessárias para a dieta humana (EMBRAPA, 2021). No Brasil, a região Sul é responsável por mais de 83% da produção nacional de arroz, ocupando cerca de 69,6% da área cultivada no país. Entre os estados sulistas, o Rio Grande do Sul é o principal produtor, contribuindo com mais de 70% da produção brasileira (CONAB, 2023).

Durante o cultivo da cultura do arroz, vários fatores interferem no seu desenvolvimento, resultando em redução de produtividade e aumento dos custos de produção. Em uma análise da variabilidade espacial dentro de um campo de produção de arroz, Chung et al. (2005) constataram que o rendimento máximo da cultura foi mais que o dobro do rendimento mínimo. Baseado nisso, a Agricultura de Precisão (AP) leva em conta a existência da variabilidade espacial e temporal dos diferentes fatores que influenciam a produtividade das culturas no manejo das áreas agrícolas. Portanto, para aplicar os princípios da AP, é crucial conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo.

Ainda, os mapas de produtividade revelam a variação espacial da produção de uma cultura no campo, mas não explicam as causas dessa variabilidade (COELHO, 2003). Embora indiquem as regiões de baixa e alta produtividade, não esclarecem as razões por trás dessas diferenças. Deste modo, é necessário estudar os fatores que afetam essa variação, incluindo os atributos do solo, cuja obtenção de dados é um processo mais oneroso. Assim, a análise da composição e do comportamento do solo se concentra em sua caracterização física e química (MACHADO et al., 2018), com a condutividade elétrica sendo indiretamente relacionada a essas características.

Dessa maneira, a medição da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) tem se mostrado uma ferramenta valiosa na agricultura de precisão para auxiliar na identificação localizada dos fatores do solo que influenciam a produtividade das culturas. A CEa do solo pode ser influenciada por diversos fatores, como temperatura, teor de água, íons na solução, textura e estrutura do solo, tornando inviável a estimativa direta dos atributos do solo a partir de suas leituras, sejam eles químicos ou físicos (BOTTEGA et al., 2015). Segundo REICHERT et al. (2008), a definição espacial dos atributos do solo e das plantas contribui para o planejamento das lavouras comerciais e a locação de experimentos científicos. Assim, a geoestatística é uma ferramenta valiosa para determinar a existência ou ausência de dependência espacial entre as observações. Isso viabiliza sua utilização em mapeamentos, direcionamento de futuras amostragens e modelagens, permitindo a estimativa de valores de atributos em locais não amostrados (GOMES et al., 2007). Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo, estabelecer zonas de manejo (ZM) e relacionar com a produtividade do arroz irrigado, em área de várzea no município de Cachoeira do Sul-RS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no ano agrícola 2022-23, em um talhão de lavoura comercial de arroz em sistema de cultivo mínimo, com terreno sistematizado em taipas. A área está localizada no distrito de Capané em Cachoeira do Sul/RS (30,45 S, 53,19°O). O solo predominante na região

é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, unidade Vacacaí (STRECK, 2008). As características de solos e relevo da região beneficiam a irrigação por inundação, contribuindo para que as áreas possuam excelente aptidão ao cultivo do arroz. Quanto ao clima, é classificado por Köppen como subtropical úmido - Cfa. (ALVARES et al., 2013.)

O talhão possui 50 hectares, no qual foi alocado um grid amostral com densidade de 1 ponto por hectare, perfazendo 50 pontos amostrados (Figura 1). Em cada ponto amostral foi medida a condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m^{-1}) e retiradas amostras de solo para caracterização de rotina laboratorial. Os dados foram coletados antes da semeadura da cultura do arroz.

Figura 1 – Talhão de estudos e grid amostral.



Fonte: Autores (2023)

O talhão foi semeado com a cultivar IRGA 424 RI. A semeadura ocorreu no dia 08/11/2022 na densidade de semeadura de 80 kg ha^{-1} , todos os manejos seguiram as recomendações agrônômicas da cultura, os quais foram realizados pelo produtor rural. A colheita do arroz foi realizada no dia 13/03/2023 em uma área de $0,25 \text{ m}^2$ em trinta e três pontos localizados dentro da lavoura, distribuídos em função das zonas de manejo delimitadas previamente. As plantas de arroz foram processadas manualmente (debulhadas) e a umidade corrigida a 13%, sendo os valores obtidos em kg parcela^{-1} extrapolados para kg ha^{-1} .

A CEa foi mensurada pelo método da resistividade elétrica. Foi introduzido no solo quatro eletrodos igualmente espaçados horizontalmente em $0,20 \text{ m}$, objetivando, assim, medir a CEa representativa da camada de solo de $0,0 - 0,20 \text{ m}$. A configuração e montagem dos eletrodos foi feita com base na matriz de Wenner (CORWIN; HEDRICKX, 2002; CORWIN; LESH, 2003). Para as leituras de CEa foi utilizado um medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02. A matriz Wenner foi constituída de uma armação em formato de “T”, com tubos de metalon, parafusos de aço (eletrodos) e fios flexíveis de cores diferentes. Os fios vermelhos foram conectados aos eletrodos de corrente e os fios pretos aos eletrodos de potencial. Para garantir confiabilidade nas leituras, o contato dos parafusos com a armação de metalon foi devidamente isolado, sendo estes, revestidos com mangueira de PVC.

A resistividade obtida utilizando a Matriz de Wenner foi calculada pela Equação 1.

$$\rho = \frac{2\pi a \Delta V}{i} \quad (1)$$

Onde: ρ = Resistividade, Ohm m^{-1} ; a = Espaçamento entre eletrodos, m; ΔV = Diferença de potencial medida, V; i = Corrente elétrica aplicada, A.

A condutividade elétrica aparente do solo representa o inverso da resistividade, sendo calculada utilizando a Equação 2.

$$CEa = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Em que: CEa = Condutividade elétrica aparente do solo, mS m^{-1}

No momento das leituras de CEa, foi realizado a estimativa da umidade volumétrica do solo por um conjunto FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific), constituído por sensores com duas hastes, também foram realizadas as coletas de solo com estrutura deformada com o auxílio de um trado calador para a análise química do solo, realizada no laboratório do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

Após estruturado o banco de dados, procedeu-se a análise geoestatística, empregada para modelar a dependência espacial da dos atributos do solo, estimar valores destes atributos em locais não amostrados e delimitar as zonas de manejo.

A análise geoestatística foi realizada utilizando o plugin Smart-Map (PEREIRA et al. 2022) no software QGIS versão 3.10.1. Calculou-se o Índice de Moran (I) univariado ($P\text{-Value} < 0,05$ para 999 permutações), para a autocorrelação espacial significativa, indicativo da existência de variabilidade espacial. Após, foi ajustado e validado o semivariograma, a fim de caracterizar a variabilidade espacial dos dados. Depois de ajustado e validado o modelo, foi realizada a interpolação dos valores para predição em locais não amostrados. O método de validação adotado foi o da validação cruzada e a interpolação de valores foi realizada por krigagem ordinária (K.O). Além disso, utilizando o mesmo plugin foram delimitadas ZM. O Smart-Map possibilita a interpolação dos dados utilizando Krigagem Ordinária e técnicas de *Machine Learning* por meio do *Support Vector Machine* (SVM).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade volumétrica apresentou valores entre 0,189 e 0,611 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, sendo os menores valores em locais de solo mais arenoso e maiores valores em locais com solo mais argiloso. Dentre os atributos avaliados a CEa, a argila, o Cálcio (Ca), o Magnésio (Mg), a capacidade de troca de cátions (CTC efetiva), a capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC pH 7), a saturação de bases e a acidez potencial ou total (H+Al) foram os que apresentam variabilidade espacial na área em estudo. Assim, a Tabela 1 apresenta o resultado da estatística e geostatística para estes atributos.

Tabela 1 – Resultados da geostatística para cada atributo em análise que apresentou correlação espacial entre os estudados.

	I Moran	P value	Modelo	Co	Co+c	A	RMSE	R ²
CEa(mSm)	0,937	0,002	Gaussiano	23,47	43,53	305,58	1,58	0,98
Argila (%)	0,950	0,002	Exponencial	9,93	78,85	504,20	1,63	0,96
K (m g/dm³)	0,697	0,020	Linear	260,38	406,65	419,35	9937,9	0,68
Ca (cm olc/dm³)	0,768	0,010	Linear	3,65	7,33	430,03	0,96	0,93
(Mg cm olc/dm³)	0,760	0,001	Linear com patamar	0,68	1,61	605,32	0,02	0,95
H + Al (cm olc/dm³)	0,666	0,002	Esférico	0,97	3,36	340,11	0,10	0,91
CTC Efetiva	0,774	0,001	Linear com patamar	7,16	18,55	586,05	3,43	0,95
CTC PH 7,0	0,745	0,001	Esférico	6,24	19,17	515,74	7,09	0,89
Sat. Bases (%)	0,751	0,001	Linear	19,54	42,88	617,51	6,69	0,97

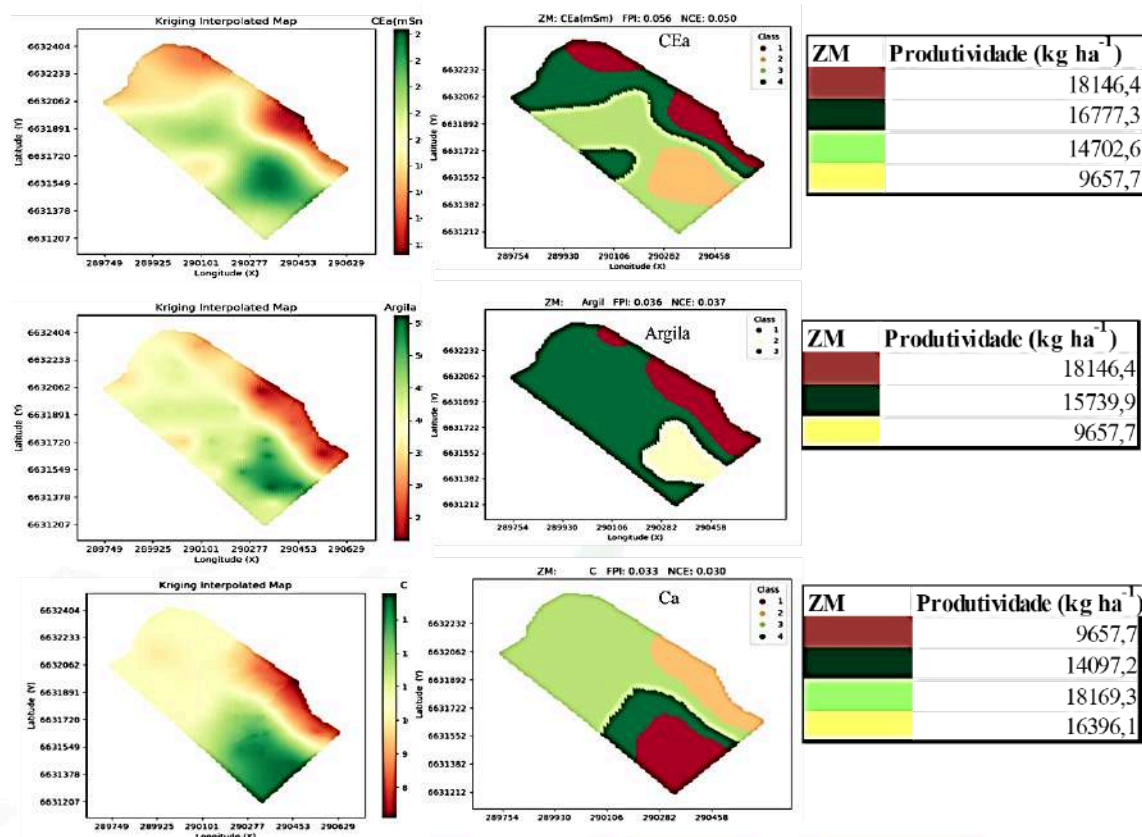
Fonte: Autores (2023)

Segundo Almeida (2012), o resultado do índice de Moran univariado varia de -1 a 1. Um valor próximo de 1 indica autocorrelação espacial positiva, o que significa que áreas com valores altos tendem a estar cercadas por áreas com valores altos, e áreas com valores baixos estão cercadas por áreas com valores baixos. Um valor próximo de zero indica ausência de autocorrelação espacial. Portanto, o resultado da estatística do Índice de Moran univariado indicou que existe autocorrelação espacial significativa para ambos parâmetros analisados, sobretudo para os atributos argila e CEa com I superior a 0,9 (Tabela 1). O valor p é definido como a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado (FERREIRA; PATINO, 2015). Se o valor p de Moran for menor do que o nível de significância escolhido, é um indicativo de existência de autocorrelação espacial significativa nos dados. Os resultados (Tabela 1) são de baixos valor de ($p < 0,05$) para todos os tributos.

Os modelos teóricos de semivariância ajustados foram gaussiano, exponencial, linear, linear com patamar e o esférico, todos eles com R² próximos ou superiores a 0,9 e baixos valores de RMSE, com exceção a modelagem para o K. O alcance também foi elevado entre 300 e 617 m, bem superior a distância entre pontos amostrados. Segundo CORÁ et al. (2004), o valor do alcance determina o número de valores usados na interpolação, portanto, podem influenciar na qualidade das estimativas.

Os mapas da autocorrelação espacial, de ZM e a produtividade média avaliada para cada ZM estão apresentados nas Figuras 2 e 3. Os mapas temáticos e as ZM geradas demonstram um padrão de similaridade entre a CEa e demais atributos do solo, como: Argila, Ca, Mg e CTC. Já, a saturação de bases e a acidez potencial ou total (H+Al) possuem um padrão diferentes de distribuição espacial em comparação aos demais atributos. Conforme Machado et al. (2006) e Corassa et al. (2016) a CEa é influenciada pelo potencial exercido pelos íons presentes na dupla camada difusa das partículas de argila. Além disso, a maior quantidade de poros preenchidos com água em solos argilosos, em comparação com os solos arenosos, também contribui para esses resultados. Portanto, à medida que os valores de CEa aumentam, os valores de argila, Ca, Mg e CTC seguem o mesmo sentido, mostrando que são diretamente proporcionais (Figuras 2 e 3).

Figura 2 – Mapas da autocorrelação espacial e a produtividade de cada zona de manejo estabelecida a partir dos atributos do solo (CEa, argila e Ca).

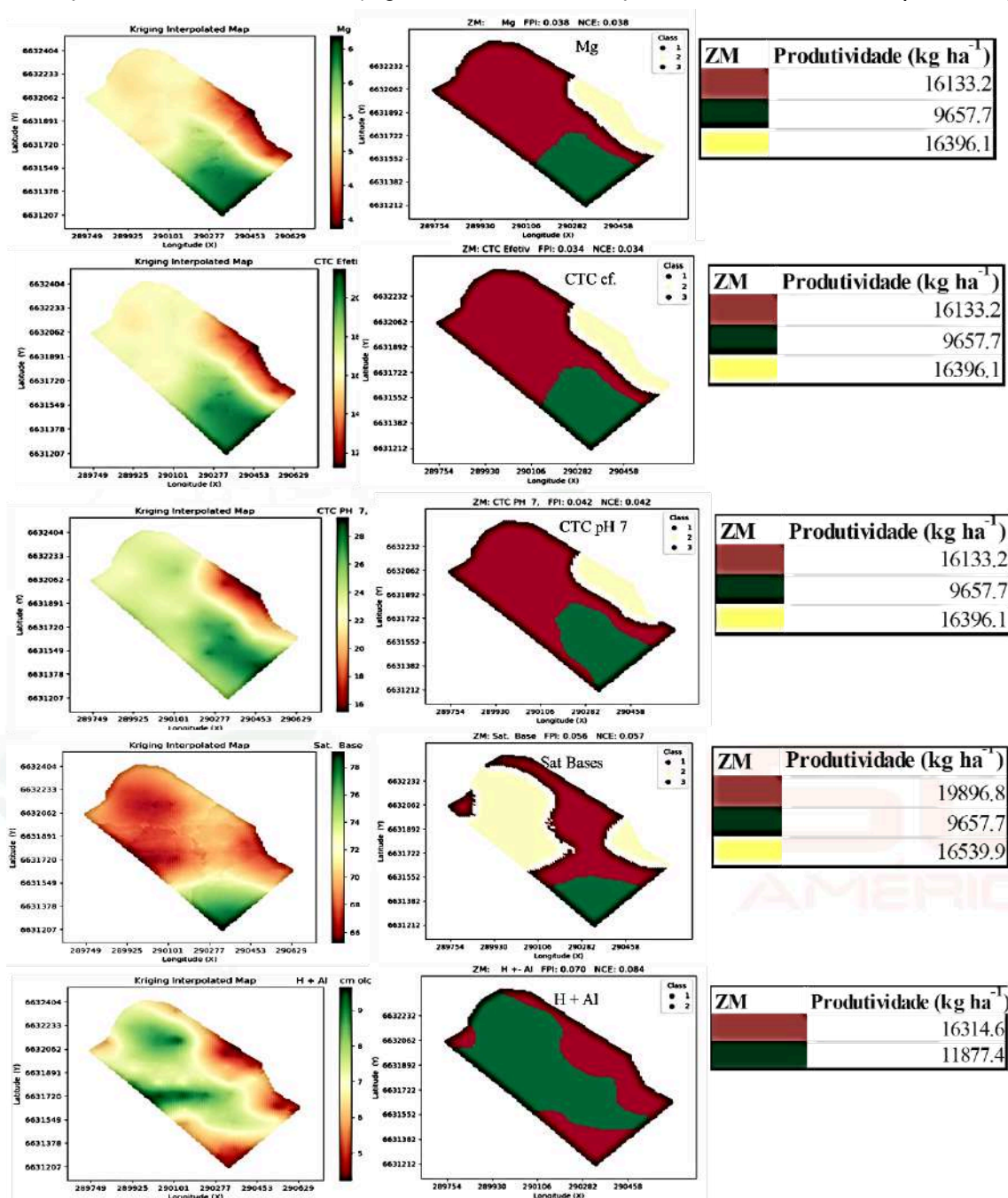


Fonte: Autores (2023)

Dessa forma, a CEa apresenta-se como um atributo do solo de rápida determinação e baixo custo de amostragem (SUDDUTH et al., 2013; LOPES et al., 2017), como relação direta com os atributos do solo que afetam a produtividade das culturas (Figuras 4 e 5). Assim, o mapeamento da variabilidade espacial da CEa destaca-se como parâmetro para a definição de zonas de manejo (BERNARDI et al., 2015). Ao delimitar essas zonas, regiões do campo de produção com valores de CEa semelhantes podem ser consideradas homogêneas para fins de manejo (BOTTEGA et al., 2015).

Por outro lado, a produtividade demonstrou-se inversamente proporcional a CEa (Figura 2), sendo a máxima produtividade atingida na ZM com baixa CEa, ou seja, em solo com menor teor de argila e mais pobre quimicamente (menor valor de Ca, Mg e CTC), conforme apresenta as Figuras 2 e 3. Tal resultado pode ser atribuído às condições físicas do solo. Pesquisas em solos de várzea tem avaliado alterações nas suas propriedades físicas (BAMBERG et al., 2009; MENTGES et al., 2013). Os resultados destas pesquisas evidenciam que o uso do solo ocasiona aumento na densidade e redução na porosidade total, macroporosidade e agregação do solo.

Figura 3 – Mapas da autocorrelação espacial e a produtividade de cada zona de manejo estabelecida a partir dos atributos do solo (Mg, CTC efetiva, CTC a pH 7, sat. bases e acidez potencial).



Fonte:

Autores (2023)

Os solos argilosos (ZM classe 2 em função do teor de argila), apresentado na Figura 2, devido a sua estrutura física, possuem baixa condutividade hidráulica, sendo necessário mais tempo para a água umedecer o solo, além disso, a densidade do solo interfere diretamente na sua porosidade, quanto mais denso menor é a porosidade, condição que dificulta a drenagem da água, estes fatores somados, reduzem a velocidade da infiltração da água no solo, reduzindo a velocidade de avanço da água no talhão. Dessa maneira, existe a possibilidade de ocorrer déficit hídrico nas áreas que ainda não foram inundadas, reduzindo a emergência das plantas e,

consequentemente, a densidade de plantas na lavoura. Este cenário pode ter tido uma influência significativa nos resultados apresentados neste estudo.

4. CONCLUSÃO

O mapa da CEa apresenta-se como uma promissora ferramenta para integrar a AP, uma vez que se mostra eficiente para refletir a variabilidade espacial dos atributos do solo, sendo possível estabelecer a partir deste atributo zonas de manejo para a análise de solo e da produtividade do arroz. Atributos como: argila, Ca, Mg e CTC, demonstraram comportamentos diretamente proporcionais à CEa. Em contraste, a produtividade apresentou um comportamento inversamente proporcional ao atributo em análise.

A delimitação de ZM a partir da CEa permitiu identificar significativa variabilidade dos atributos físico-químicos do solo e da produtividade do arroz. As maiores produtividades ocorreram nas ZM com menores teores de alumínio, argila e menor densidade do solo, sendo possível estabelecer relações inversas destes atributos e a produtividade da cultura.

Um menor estabelecimento de plantas por área na ZM classe 2 (mais argilosa), atribuído a pior condição de umidade do solo nesta fase do ciclo em função também da condição de um maior adensamento, reduziu a produtividade do arroz nesta ZM em comparação às demais.

A integração das informações sobre atributos químico-físicos do solo com a utilização de uma variável de fácil obtenção (CEa) pode contribuir para aprimorar as práticas de cultivo, aumentar a produtividade e promover um sistema de produção mais sustentável, apresentando como uma ferramenta inovadora na área de várzea.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. Econometria Espacial Aplicada. **Editora Alínea**. P. 428 2012.

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BAMBERG, A.L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TIMM, L.C.; PINTO, L.F.S.; LIMA, A.C.R. & SILVA, T.R. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1079-1086, 2009.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p.205-221, 2015.

BEZDEK, J. C. **Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms**. Norwell: Kluwer: Academic Publishers, 1981. 256p.

BOTTEGA, E.L.; SAFANELLI, J.L.; ZERAATPISHEH, M.; AMADO, T.J.C.; QUEIROZ, D.M.D.; OLIVEIRA, Z.B.D. Site-Specific Management Zones Delineation Based on Apparent Soil Electrical Conductivity in Two Contrasting Fields of Southern Brazil. **Agronomy**, 2022, 12, 1390. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061390>.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Correlação entre condutividade elétrica aparente e atributos químicos e físicos de um Latossolo. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 2, p.134-142, 2015.

CHUNG, S.O.; SUNG, J.H.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T.; HYUN, B.K. Spatial variability of yield, chlorophyll content, and soil properties in a Korean rice paddy field. **Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, Minnesota, EUA, 16-19 de julho de 2000**. Sociedade Americana de Agronomia, 2000. p. 1-14.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.243-290.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 10, décimo levantamento, julho. 2023.

CORASSA, G. M. et al. Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9. p. 1306-1316, 2016.

CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Vol. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CORWIN, D.L.; HENDRICKX, J.M.H. Electrical Resistivity: Wenner Array. In: SILVA, J.S. Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods, Madison, Wisconsin, USA: **SSSA Book Series**, n. 5, p.1282-1287. 2002.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. **Agronomy Journal**, v.95, n. 3, p. 455-471. 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Cultivo do Arroz**, 2021.

FERREIRA, C. F.; PATINO, C. M. O que realmente significa o valor-p? **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. 2015 p. 485-485.

FRIDGEN, J. J. et al. Management zone analyst (MZA): Software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 1, p. 100-108, 2004.

GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; FARIA, M. A.; OLIVEIRA, P. M. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p.435-443, 2007

LOPES, K. A. L.; AGUIAR, F. I. S.; OLIVEIRA, I. R.; DANTAS, J. S.; SILVA, G. B. Variabilidade espacial da condutividade elétrica de um solo coeso relacionada com argila. **Unimar Ciências**, Marília, v. 26, n. 1-2, p.54-63, 2017.

MACHADO, P. et al. Electrical conductivity mapping in relation to clay of a Ferralsol under no tillage system (In Portuguese). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6. p. 1023- 1031, 2006.

MACHADO, J.; PADILHA, M. R. F.; LIRA, F. P.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, R. S.; CAETANO, M. B. C. Agricultura de precisão e abertura de novas fronteiras no Brasil. **Geama**, Recife, v. 4, n. 1, p.45-53. 2018.

MENTGES, I.M.; REICHERT, J.M.; GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; XAVIER, A. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** 37 (1), Fev. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100023>.

ODEH, I. O. A.; CHITTLEBOROUGH, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil pattern recognition with fuzzy-c-means: Application to classification and soil-landform interrelationships. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 56, n. 2, p. 505-516, 1992.

PEREIRA, G. W. et al. Smart-map: An open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1350, 2022.

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, J. D. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.981-988, 2008.

RHOADES, J. D. et al. Soil Electrical Conductivity and Soil Salinity: New Formulations and Calibrations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53. n. 2. p. 433, 1989.

STRECK, V. E. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER-RS, UFRGS, 2008. 222 p.

SUDDUTH, K. A.; MYERS, D. B.; KITCHEN, N. R.; DRUMMOND, S. T. Modeling soil electrical conductivity-depth relationships with data from proximal and penetrating ECa sensors. **Geoderma**, Amsterdam, v. 199, p.12–21, 2013.

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO CULTIVADO EM TERRAS BAIXAS

Application Methods of Nitrogen Fertilizer in Corn Cultivated in Lowlands

Arleston Pinheiro Saldanha¹; Luka da Costa Bianchin¹; Thalles Fagundes de Fagundes¹; Kinderman Jesse Muller da Silva¹; Vitoria Pinheiro Chuquel¹; Chaiane Guerra da Conceição¹; Amanda Rithieli Pereira dos Santos¹; Vinícius dos Santos Cunha¹

¹ Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Av. Tiarajú, 810, 97546-550, Alegrete – Rio Grande do Sul, Brasil, arlestonsaldanha.aluno@unipampa.edu.br, lukabianchin.aluno@unipampa.edu.br, thallesfagundes.aluno@unipampa.edu.br, kindermansilva.aluno@unipampa.edu.br, vitoriachuquel.aluno@unipampa.edu.br, chaianeconceicao@unipampa.edu.br, amandasantos@unipampa.edu.br, viniciuscunha@unipampa.edu.br

RESUMO

O manejo do nitrogênio (N) do milho precisa ser melhorado e o método de aplicação pode ser uma alternativa para isso. O objetivo deste trabalho foi avaliar três métodos de adubação nitrogenada sobre a produtividade do milho cultivado em terras baixas. O estudo foi conduzido na Unipampa Campus Alegrete, na safra 2022/2023. O trabalho foi composto por três tratamentos, implementados manualmente, representados pelos métodos: Tradicional: com adubação nitrogenada aplicada a lanço em área total; Incorporado: com adubação nitrogenada incorporada ao solo, antes da semeadura; Precisão: com adubação nitrogenada aplicada de modo dirigido, à lanço, próximo da linha de cultivo. Utilizou-se ureia como fonte, contendo 44% de N. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 4 repetições, sob sistema sulco-camalhão. Não se observou benefícios para o milho, em termos de produtividade e seus componentes, em realizar a modificação do método de aplicação da adubação nitrogenada, uma vez que a análise de componentes principais identificou maior produtividade no método tradicional.

Palavras-chave: Milho. Nitrogênio. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The nitrogen (N) management of corn needs to be improved, and the application method can be an alternative for this. The objective of this study was to evaluate the corn response to different methods of nitrogen application. The study was carried out in the experimental station of the Unipampa, Alegrete, during 2022/2023 growing season. The study consisted of three treatments, represented by the following application methods: Traditional, with nitrogen broadcasted over the entire area; Incorporated, with nitrogen incorporated into the soil before sowing; Precision, with nitrogen broadcasted next to the row. In all treatments, urea was used as the source, containing 44% N. The experimental design was the randomized complete blocks, with 4 replications, under a furrow-ridge system. No benefits were observed for corn in terms of yield and yield components by changing the method of nitrogen fertilizer application, since the principal component analysis identified higher corn yield when traditional method was used.

Keywords: Corn. Nitrogen. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um importante produto do agronegócio brasileiro, dada a sua diversidade de aplicações, tanto na alimentação humana como animal, sendo o Brasil o terceiro

maior produtor e maior exportador (FAO, 2023). Nos últimos anos, o cultivo do milho vem se expandindo para a metade sul do Rio Grande do Sul (RS), particularmente onde predominam solos com baixa condutividade hidráulica e perfil raso. Nessa região, o milho vem ocupando áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado, em diversas mesorregiões, como a Fronteira Oeste (SANTOS, 2019; CAMPOS et al., 2021). Na metade sul do RS, o milho vem sendo cultivado com o uso de irrigação por superfície, se aproveitando de parte da estrutura do arroz irrigado, apresentando, assim, estabilidade produtiva (CAMPOS et al., 2021). Com isso, a produtividade da cultura fica limitada à ocorrência de eventos extremos, como altas temperaturas, ou mesmo práticas de manejo, como a adubação nitrogenada.

O nitrogênio (N) é requerido em grande quantidade pelo milho, tendo o manejo mais desafiador e sendo um limitante da produtividade. A complexidade no manejo do N se dá em função de suas reações no solo, podendo ocorrer diversas perdas (LI et al., 2022). Ainda, o N influencia diretamente a qualidade de grãos. Apresenta, também, grande influência no custo de produção, demandando atenção na tomada de decisão quanto à dose, fonte e forma de aplicação. Deste modo, melhorias no manejo da adubação nitrogenada da cultura tornam-se essenciais para o aumento da produtividade, rentabilidade e sustentabilidade dos sistemas de produção de milho (HÖRBE et al., 2016; SCHWALBERT et al., 2018; LI et al., 2022).

Considerando custo, eficiência dos fertilizantes minerais, perdas para o ambiente e o impacto na produtividade, alternativas, como a utilização de microrganismos, potencialmente fornecedores de N, bem como novas formulações de fertilizantes, têm sido pesquisadas e empregadas (ÖRDÖG et al., 2021). É importante, também, evoluir no entendimento do melhor método de disponibilizar o N para a cultura, com vistas a investir em melhorias nos equipamentos empregados para esse fim.

No Brasil, a adubação ainda é realizada, em grande parte, com fertilizantes minerais, na forma granulada, com pouca utilização da forma líquida. No que tange ao manejo do N mineral, pode-se assumir que, em média, 20% da necessidade da cultura é disponibilizada no sulco de semeadura, e o restante em cobertura, podendo a cobertura ser terrestre ou aérea. A grande maioria das aplicações são na forma terrestre, com distribuidores centrífugos de disco horizontal (MARTINS et al., 2014; REYNALDO; MACHADO, 2016; REYNALDO et al., 2016). Esses distribuidores apresentam como vantagens a capacidade operacional, o custo de aquisição, a versatilidade e regulação simples, o que popularizou seu uso (REYNALDO e MACHADO, 2016). Porém, como principal desvantagem, a uniformidade da aplicação está condicionada a qualidade do produto a ser aplicado, o que pode aumentar a desuniformidade de distribuição do N mineral, conforme observado por Reynaldo et al. (2016). Essa desuniformidade na distribuição pode acarretar redução de produtividade, assim como aumento da perda de N para o ambiente, principalmente quando aplicado na forma de uréia (LI et al., 2022).

Recentemente produtores têm utilizado a prática de incorporar toda a adubação nitrogenada, que seria aplicada em cobertura, antes da semeadura da cultura. A prática não é, ainda, largamente utilizada, muito em função da falta de mais investigações científicas a respeito. Pöttker e Wiethölter (2004), investigaram a influência de métodos de aplicação de N em milho, representados pela adubação a lanço e incorporada em pré-semeadura, no planalto médio do RS. Os autores concluíram não haver diferença, o que, em tese, não justifica a prática de incorporar o N na pré-semeadura, dado ao custo da operação.

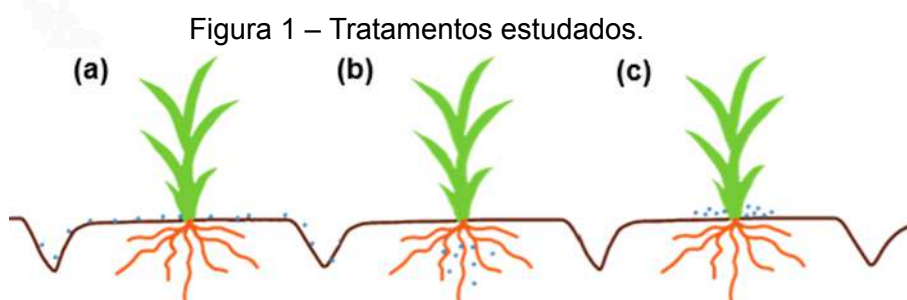
Outro método de disponibilizar o N em cobertura, é por meio de distribuidores pneumáticos. Nesse caso, uma pressão positiva de ar é gerada a partir do reservatório, empurrando o fertilizante para dentro de uma barra e conduzindo-o até um tubo, onde é descarregado próximo da linha de cultivo. Alguns distribuidores disponíveis no mercado já contam com essa tecnologia, porém os precedentes de uso ainda são poucos, dado o seu maior custo de aquisição e ausência

de trabalhos avaliando o impacto sobre a produtividade das culturas. É esperado que esse método apresente maior uniformidade na distribuição, colocando o fertilizante mais próximo das plantas, facilitando sua absorção, reduzindo perdas e até mesmo aumentando a produtividade. Porém, o relato de Martins et al. (2014), conduzindo experimento em Jaboticabal, SP, é de que a produtividade do milho não é afetada quando a adubação de cobertura é aplicada próximo da linha de cultivo, como um distribuidor pneumático faria. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar três métodos de adubação nitrogenada sobre a produtividade do milho cultivado em terras baixas, na metade Sul do RS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal do Pampa Campus Alegrete, localizada nas coordenadas geográficas 29° 47' 44,19" S, 55° 45' 47,71" O, com altitude de 100 metros, em topografia plana, no município de Alegrete, RS. O solo da área é classificado como Neossolo Litólico Eutrófico Fragmentário, pertencente à unidade de mapeamento Pedregal (STRECK et al., 2018). Alegrete está localizada na região fisiográfica da Fronteira Oeste do Estado Rio Grande do Sul tendo, segundo a classificação de Köppen, clima mesotérmico e úmido, definindo-se como do tipo fundamental Cfa, caracterizado como subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). Nos últimos 15 anos, a temperatura média anual é de 18,3°C e a precipitação pluvial média anual 1.502,7 mm (INMET, 2023).

O estudo foi composto por três tratamentos, representados pelo método de aplicação da adubação nitrogenada, sendo: a) Tradicional: adubação nitrogenada de cobertura aplicada no modo tradicional, a lanço, distribuída na área total, simulando o trabalho de um distribuidor centrífugo de discos horizontais; b) Incorporado: toda a adubação nitrogenada que seria aplicada em cobertura sendo incorporada ao solo, no dia anterior a semeadura; c) Precisão: adubação nitrogenada de cobertura aplicada de modo localizado, à lanço, próximo da linha de cultivo. A implementação dos tratamentos se deu de modo manual, buscando simulá-los no campo. Os tratamentos estão ilustrados na Figura 1.



Legenda: Método Tradicional(a), Incorporado (b) e Precisão.

Fonte: Autor (2023).

O manejo da adubação contou ainda com adubo de base, o qual disponibilizou 22% do total requerido de N, sendo o restante aplicado na forma dos tratamentos descritos, utilizando ureia como fonte, contendo 44 % de N. As adubações de cobertura, realizadas para disponibilizar o total de N restante, nos tratamentos Tradicional e Precisão, foram parceladas nos estádios V3 e V8, da escala de Ritchie et al. (1993), sendo 60% em V3 e 40% em V8.

De acordo com o laudo de análise de solo, era necessária a aplicação de 135 kg de N.ha⁻¹, 175 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 90 kg de K₂O ha⁻¹, para alcançar produtividade de 9000 kg de milho.ha⁻¹. A

fonte de adubação de base foi a fórmula 04-25-12, que possui 4% de N, 25% de P_2O_5 e 12% de K_2O . Para suprir essa demanda, foi aplicado 750 kg da fórmula 04-25-12 por hectare, à lanço em área total, logo após a semeadura do milho, e ureia (44%) em cobertura, conforme descrito acima. Tanto o pH do solo como a saturação por bases (V%), apresentaram valores dentro da faixa ideal (6,0 para o pH e 70% para V%), não necessitando da aplicação de corretivos. A recomendação de adubação seguiu o preconizado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016).

Para a implantação do experimento, procedeu-se à semeadura manual do híbrido NK 467 VIP3, na densidade de 67 mil sementes por hectare, no dia 19/12/2022. O manejo e os tratamentos culturais referentes a plantas daninhas, insetos-praga e doenças foi realizado de modo a garantir proteção e nível de dano a não comprometer os resultados experimentais, sempre respeitando o preconizado pela pesquisa, utilizando apenas produtos registrados.

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Cada unidade experimental possuía as seguintes dimensões: 4 metros de comprimento e 2,4 metros de largura, totalizando 9,6 m². O espaçamento entre fileiras foi de 80 centímetros, totalizando 3 linhas de cultivo em cada unidade experimental, considerando como área útil, em cada unidade, a linha central.

Para a implantação do experimento fez-se necessário o preparo do solo, utilizando-se de um arado, para fazer a aração, seguido de uma gradagem com grade niveladora. Na sequência, sem a suavização do terreno para correção de imperfeições, foi implantado o sistema sulco-camalhão, seguindo a metodologia de Campos et al. (2021), que permitiu a irrigação por politubos e caso fosse necessário, a drenagem da área pelos mesmos. O terreno possui declividade de 1,1% que, conforme mencionado acima, foi mantida.

O manejo da irrigação foi baseado em turno de rega variável, conforme a evapotranspiração da cultura, sendo as lâminas compostas pela reposição da Evapotranspiração da cultura (ETc), conforme metodologia proposta por Dorembos e Kassam (1979). Com os dados meteorológicos (INMET, 2023), associados à capacidade de armazenamento de água do solo medida em 43 mm, foi calculado o balanço hídrico de cultivo do milho, com e sem irrigação.

Como variáveis resposta, mediu-se: população de plantas (PP) em nº de plantas.ha⁻¹, índice de área foliar (IAF) em m² de folhas.m⁻² de área de solo, altura de planta (AP) em metros, altura de inserção da espiga (AIE) em metros, Diâmetro do colmo (DC) em centímetros, número de espigas.ha⁻¹ (NEH), número de espigas. planta⁻¹ (NEP), número de grãos. espiga⁻¹ (NGE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG) em kg.ha⁻¹. Com exceção de PP, medida em toda a linha central, todas as variáveis foram geradas através de 10 plantas marcadas em sequência, no centro da linha central.

O IAF foi medido no estádio VT (RITCHIE et al., 1993), aos 49 dias após a semeadura. A PG foi determinada pela colheita das parcelas, seguidas da debulha e limpeza dos grãos. A altura de planta foi medida na inserção da panícula (pendão). A MMG e a PG tiveram seu peso úmido descontado, de modo que seus valores representassem grãos de milho com 13% de umidade. Plantas com mais de uma espiga tiveram sua altura de inserção medida na espiga de altura inferior.

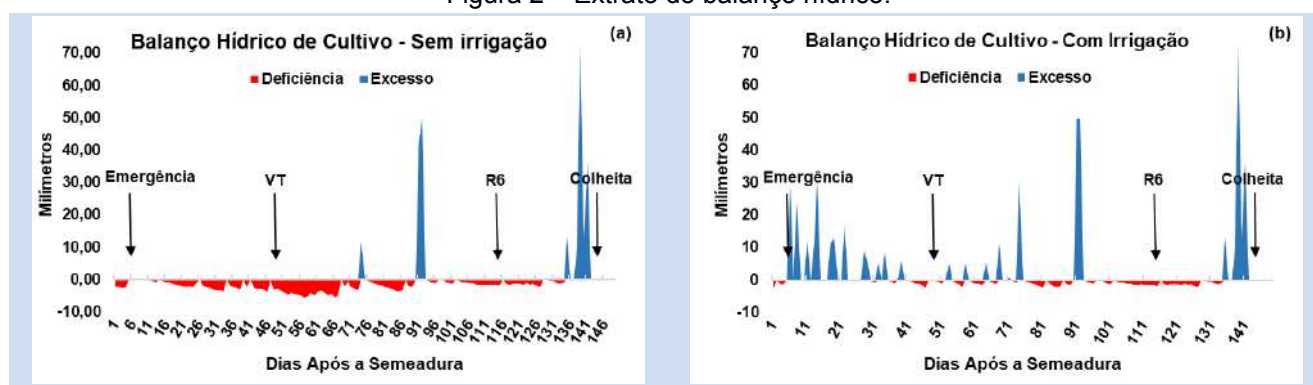
Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R, utilizando os pacotes easyanova e MultivariateAnalysis. Quando a ANOVA demonstrou haver efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott, com um nível de probabilidade de erro de 5%. O pacote MultivariateAnalysis foi utilizado para análise de componentes principais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ETc total do milho foi de 510,92 mm e o montante de chuva de 543 mm, com grande parte ocorrendo fora dos momentos de maior demanda da cultura. Desse modo, o milho passaria quase todo o seu ciclo sob situação de déficit hídrico, conforme representa a Figura 2a. Ainda, o regime térmico durante a condução do experimento apresentou-se com temperaturas máximas próximas a 40°C (INMET, 2023), em fases sensíveis a estresses por temperatura, como é o estágio VT (RITCHIE et al., 1993).

Dessa forma, a condição meteorológica condicionou um baixo potencial produtivo na região, principalmente em sistemas não planejados para que a ETc fosse repostada, principalmente em estádios chave, como germinação/emergência e florescimento/enchimento de grãos.

Figura 2 – Extrato do balanço hídrico.



Legenda: Extrato do balanço hídrico de cultivo, para o milho, em situação sem irrigação (a) e com irrigação (b).

Fonte: Autor (2023).

O balanço hídrico de cultivo estimado para a condição em que o experimento foi conduzido está representado na Figura 2b. Fazendo uma comparação entre as figuras 2a e 2b, é possível inferir que a irrigação reduziu o déficit hídrico do milho em boa parte. Contudo, o baixo volume de chuvas, altas temperaturas e velocidade do vento (INMET, 2023) e indisponibilidade do sistema de irrigação em alguns dias, ocasionou déficit hídrico próximo de períodos sensíveis. A Tabela 1 apresenta o resumo da análise de variância.

Tabela 1 - Resumo na análise de variância.

Variável	Média Geral	CV (%)	P	Variável	Média Geral	CV (%)	P
PP	63541,67	6,89	0,304ns*	NEH	62500,00	9,46	0,05ns
IAF	3,88	12,43	0,131ns	NEP	0,99	13,63	0,182ns
AP	1,84	11,01	0,278ns	NGE	404,18	12,63	0,008*
AIE	1,24	20,48	0,763ns	MMG	0,27	5,37	0,062ns
DC	2,27	16,52	0,596ns	PG	7171,49	14,16	0,178ns

Legenda: Média geral, coeficiente de variação (CV, %) e probabilidade de significância pelo valor P extraído da análise de variância para as variáveis População de Plantas (PP), Índice de Área Foliar em VT (IAF), Altura de Plantas (AP), Altura de Inserção da Espiga (AIE), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Espigas.ha⁻¹ (NEH), Número de Espigas.Planta⁻¹ (NEP), Número de Grãos.Espiga⁻¹ (NGE), Massa de Mil Grãos (MMG) e Produtividade de Grãos (PG) de milho em função do método de aplicação de N;

*ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro *: significativo a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor (2023).

A Tabela 2 apresenta as médias para todas as variáveis analisadas no experimento. Evidencia-se a variável NGE, única afetada significativamente pelos tratamentos. Observa-se que o maior número de grãos por espigas se deu nos tratamentos tradicional e incorporado, embora ambos não diferirem entre si, e serem superiores ao tratamento precisão.

Tabela 2 - Médias dos resultados obtidos no experimento.

	PP	IAF	AP	AIE	DC
Tradicional	66406	4,32	1,95	1,32	2,33
Incorporado	61197	3,82	1,70	1,22	2,38
Precisão	63020	3,50	1,86	1,19	2,11
	NEH	NEP	NGE	MMG	PG
Tradicional	61718,75	0,93	434,87 A*	281,67	8062,50
Incorporado	56250,00	0,93	471,56 A	283,29	6792,19
Precisão	69531,25	1,11	306,11 B	275,19	6659,77

Legenda: Médias das variáveis População de Plantas (PP), Índice de Área Foliar em VT (IAF), Altura de Plantas (AP), Altura de Inserção da Espiga (AIE), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Espigas.ha⁻¹ (NEH), Número de Espigas. Planta⁻¹ (NEP), Número de Grãos.Espiga⁻¹ (NGE), Massa de Mil Grãos (MMG) e Produtividade de Grãos (PG) de milho em função do método de aplicação de N.

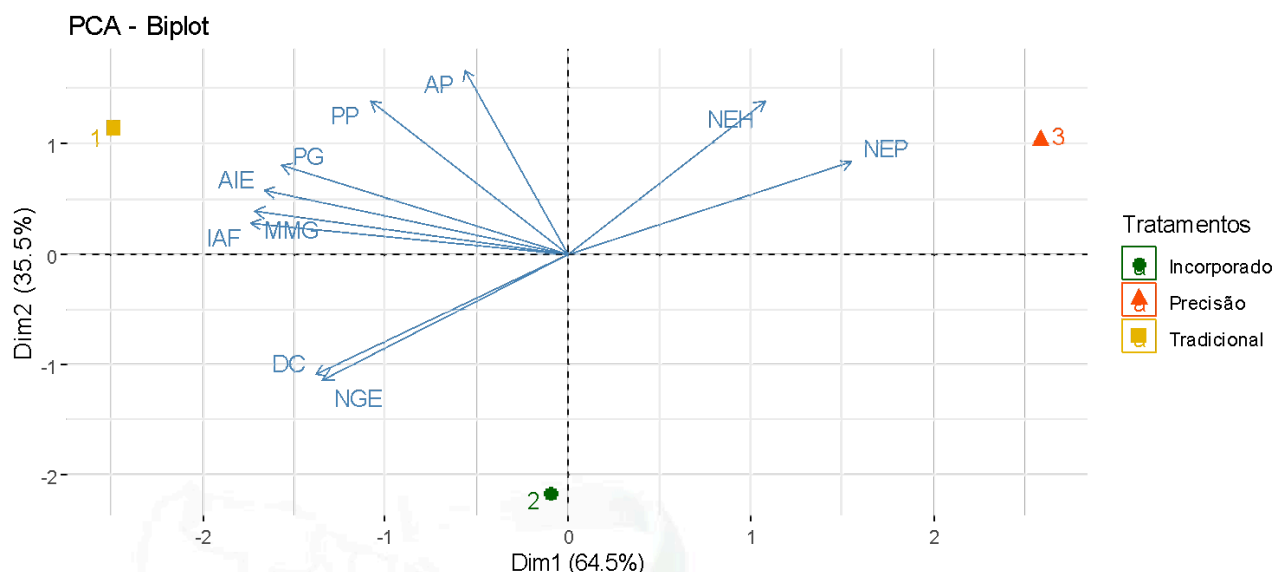
*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor (2023).

O NGE é relacionado como um componente primário da produtividade de grãos do milho, uma vez que o tamanho da espiga e, conseqüentemente, seu peso é definido por ele (SOLEYMANI, 2018). Apesar de apresentar elevada importância na produtividade, o NGE está relacionado também à população de plantas, de modo que menores populações tendem a elevar o tamanho da espiga. Essa é uma estratégia utilizada pelas plantas para fazer a compensação de falhas, de modo a manter níveis similares de produtividade ou mesmo reduzir o impacto negativo dessas falhas (SOLEYMANI, 2018).

Como já mencionado no texto, as demais variáveis não foram afetadas pelos tratamentos. Com isso, embora haja tendência dos valores maiores ou menores na Tabela 2 caracterizarem diferenças, não é possível, por meio da análise de variância, apontar, por exemplo, qual tratamento propiciou aumento de produtividade no milho, pois as médias não diferem estatisticamente. Porém, é possível utilizar a análise de componentes principais para verificar se essa similaridade se repete utilizando-se de um método estatístico multivariado. Conforme verifica-se na Figura 3, as diferentes metodologias diferenciam-se quando um método multivariado é empregado. Observa-se que a produtividade do milho tem a tendência de estar mais relacionada ao tratamento Tradicional, estando mais distante, no plano cartesiano da Figura 3, dos demais. Esse é outro indício que reforça ainda mais que para o milho não se observou benefício em realizar a incorporação do nitrogênio ou mesmo se valer de um implemento adicional para distribuir o nitrogênio próximo da linha de cultivo. Ambas as hipóteses relacionadas aos métodos Incorporado e Precisão são interessantes, pois deveriam, ao menos, reduzir as perdas de nitrogênio e/ou aumentar produtividade.

Figura 3 – Análise de componentes principais.



Legenda: Análise de componentes principais utilizando as variáveis População de Plantas (PP), Índice de Área Foliar em VT (IAF), Altura de Plantas (AP), Altura de Inserção da Espiga (AIE), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Espigas.ha⁻¹ (NEH), Número de Espigas. Planta⁻¹ (NEP), Número de Grãos.Espiga⁻¹ (NEG), Massa de Mil Grãos (MMG) e Produtividade de Grãos (PG) de milho em função do método de aplicação de N.

Fonte: Autor (2023).

A que se considerar que os tratamentos foram implantados de forma manual, com as adubações sendo realizadas individualmente em cada parcela, com coeficiente de variação abaixo do observado na literatura (REYNALDO & MACHADO, 2016; REYNALDO et al., 2016). Por exemplo, no trabalho de Reynaldo & Machado (2016), a variação na distribuição de fertilizantes, a nível de propriedade, pelo método Tradicional, pode chegar a 80%. É possível que, havendo tamanha desuniformidade, o método Tradicional tenha desempenho inferior ao observado neste estudo. Com isso, é necessário entender que resultados semelhantes aos obtidos aqui serão alcançados apenas se manutenção e regulação do implemento sejam preconizadas e que a qualidade física do fertilizante seja a melhor possível, assim como observado por Reynaldo et al. (2016).

Ainda, não se pode descartar que a condição estressante em que o milho foi submetido na região de Alegrete não tenha sido um fator limitante à observação de diferenças. As altas temperaturas do ar e velocidade do vento ao longo dos meses de janeiro e fevereiro (INMET, 2023) elevaram a demanda evapotranspirativa da cultura. Nessas situações, mesmo repondo a ETc via irrigação, a demanda atmosférica é tão alta que, mesmo havendo disponibilidade hídrica no solo, ocorre fechamento estomático e, conseqüentemente, diminuição da fotossíntese (SOLEYMANI, 2018). Com isso, os sítios de absorção do N podem ter saturado nos métodos Incorporado e Precisão, dada a maior concentração do elemento próximo das raízes das plantas. Isso reforça a possibilidade de que ambos os tratamentos teriam melhor desempenho em condição de temperatura do ar e velocidade do vento menores, assim como abre possibilidade de reduzir a dose de N aplicada por ambos os métodos.

Essas ponderações são imprescindíveis para que possamos estimar como será o comportamento dos tratamentos em situação real, a nível de lavoura comercial. Feito isso, é preciso olhar os resultados e interpretá-los. Na situação em que o milho foi cultivado neste experimento, pode-se afirmar que a cultura, quando teve seu manejo nitrogenado realizado de

modo tradicional, teve condições de construir sua produtividade de modo mais equilibrado, em comparação aos demais métodos. Tomando como exemplo o primeiro componente da produtividade, que é a variável PP, o tratamento Tradicional estabeleceu 99,11% do total semeado, aproveitando praticamente o máximo da germinação e vigor das sementes de milho. Desse modo, a análise de componentes principais indica justamente maior relação das variáveis PP e AP com o tratamento Tradicional, haja visto que os tratamentos Incorporado e Precisão estabeleceram 91,33% e 94,05%, do total de sementes semeadas, respectivamente. Embora todos os tratamentos tenham estabelecido mais de 90% do total semeado, essa diferença, para a cultura do milho, já é suficiente para impactar a formação do potencial produtivo da cultura.

Como observado por Soleymani (2018) ou mesmo o descrito por Ritchie et al. (1993), o decréscimo da população de plantas pode ser caracterizado como uma situação de desajuste na comunidade de plantas, diminuindo a eficiência na interceptação de radiação solar. Esse fator culmina em uma maior interceptação de radiação por unidade de planta, pois as plantas remanescentes modificam sua estrutura foliar para interceptar a radiação que seria utilizada pelas plantas vizinhas faltantes. Nesse caso, individualmente as plantas tornam-se mais produtivas, buscando compensar o decréscimo na população. Isso detalha o já mencionado nesse texto e agora reforça o apresentado na Figura 3. Em função de estabelecer menor número de plantas, o milho submetido ao tratamento incorporado formou um colmo mais espesso e culminou em uma espiga de tamanho maior, sendo essa a sua resposta em termos de compensação. Porém, não significa que haverá compensação total da produtividade, conforme observado neste estudo e por outros autores (HÖRBE et al., 2016).

Também é interesse observar na Figura 3 que onde o tratamento Precisão teve impacto intermediário na variável PP, sendo que as plantas de milho buscaram outro caminho para compensar a redução na população de plantas. Nesse caso, as plantas aumentaram sua prolificidade, haja vista o maior número de espigas por planta e por área. O aumento do número de unidades reprodutivas é uma estratégia recorrente dos vegetais e costuma ser mais eficiente na compensação da produtividade em culturas como soja, trigo e arroz. Porém, relatos demonstram que, para o milho essa não é uma estratégia eficiente (HÖRBE et al., 2016; SCHWALBERT et al., 2018; SOLEYMANI, 2018), assim como o observado neste estudo. Isso se dá em função de que investir em uma nova espiga implica em fornecer carboidratos para uma nova raquis, pedúnculo e brácteas, que poderiam ser redistribuídos para formar grãos. Também, muitas vezes essa segunda espiga aborta um número maior de óvulos do que a primeira, diminuindo o número total de grãos por planta.

Porém, é preciso novamente voltar a atenção a Figura 3, para verificar que, apesar de todo esse impacto no ajuste dos componentes primários da produtividade do milho, neste estudo, a variável PP não é a que apresenta maior correlação com a PG. A variável PG apresentou maior correlação com AIE, MMG e IAF. Tanto AIE como MMG são variáveis que, usualmente, têm controle genético mais acentuado do que o controle das práticas de manejo. Porém, manejos que propiciem espigas inseridas mais próximas da fonte principal, que são as folhas do terço superior e médio do milho, tendem a ter maior eficiência na formação dos grãos, que se tornam mais pesados e, assim, aumentam a produtividade. Parece ser, também, uma importante observação para a tendência de maior produtividade no tratamento tradicional e que está, por sua correlação observada entre as variáveis ligada ao IAF (Figura 3).

A discussão posta acima sobre os componentes da produtividade estarem sendo influenciados pela PP e estarem mais ajustados no tratamento tradicional, reflete também sobre o IAF. Uma população mais ajustada, com o número de indivíduos condizente com o híbrido/cultivar empregado, permite alcançar um também condizente IAF, que interceptará o máximo de radiação para o aumento da produtividade (SOLEYMANI, 2018). É importante reforçar, novamente, que a

oferta ambiental, na safra 22/23, não foi tal que permitisse crescimento pleno, dificultando a expansão foliar em função de altas temperaturas e velocidade do vento. Com isso, o IAF máximo, na média, foi de 3,88, muito abaixo de 6,0, considerado ótimo, impedindo que valores ótimos de coeficiente de extinção da radiação fossem atingidos, conforme descrito por Soleymani (2018).

Importante ressaltar, também, que os resultados do tratamento incorporado e precisão, frente ao tradicional, corroboram com os de Pöttker e Wiethölter (2004) e Martins et al. (2014), que também não observaram incrementos pela utilização de métodos semelhantes, em outras regiões produtoras do Brasil. Com isso, entende-se que o melhor investimento, para melhorar a distribuição de N para o milho, seja obter coeficiente de variação da distribuição dos fertilizantes em níveis, pelo menos, abaixo de 20% nos distribuidores centrífugos. Porém, essa é uma dificuldade observada a campo e apresentada por Reynaldo e Machado (2016), que reprovaram todos os distribuidores centrífugos avaliados no estado do Paraná.

4. CONCLUSÃO

No presente estudo, não se identificou benefícios em modificar o método de disponibilização da adubação nitrogenada, na forma granular, para o milho, não sendo necessário realizar uma operação adicional para a incorporação desse nutriente, nem adquirir um novo implemento ou equipamento para a aplicação de modo localizado ao lado da linha de cultivo.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONCALVES, J.L. de M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.113, p.407-427. 2013.
- CAMPOS, A. S.; CENTENO, A.; ANDRES, A.; PARFITT, J. M. B.; MÉLLO- ARAUJO, L. B.; BUENO, M. V.; PINTO, M. A. B.; MARTINS, M. B.; VEBER, P. M.; SCIVITTARO, W. B. Utilização da Tecnologia Sulco-camalhão na Produção de Soja e Milho em Terras Baixas do Rio Grande do Sul. Documentos / **Embrapa Clima Temperado**. Impresso, v. 1, p. 01-32. 2021.
- CQFS. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. p. 376. 2016.
- DORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome, **FAO**, 1979, 193 p. (Irrigation and Drainage Paper 33).
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FaoStat**. Disponível em: < <https://www.fao.org/faostat/en/#data> > Acesso: 14 de agosto de 2023.
- HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; REIMCHE, G. B.; SCHWALBERT, R. A.; SANTI, A. L.; NIENOW, C. Optimization of Within-Row Plant Spacing Increases Nutritional Status and Corn Yield: A Comparative Study. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 1-10, 2016.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 05/07/2023.

LI, T.; WANG, Z.; WANG, C.; HUANG, J.; FENG, Y.; SHEN, W.; ZHOU, M.; YANG, L. Ammonia volatilization mitigation in crop farming: A review of fertilizer amendment technologies and mechanisms. **Chemosphere**, v. 303, 134944, 2022.

MARTINS, A. S.; CAZETTA, J. O.; FAKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 271-279. 2014.

ÖRDÖG, V.; STIRK, W. A.; TAKÁCS, G.; PÓTHE, P.; ILLÉS, Á.; BOJTOR, C.; SZÉLES, A.; TÓTH, B.; VAN STADEN, J.; NAGY, J. Plant biostimulating effects of the cyanobacterium *Nostoc piscinale* on maize (*Zea mays* L.) in field experiments. **South African Journal of Botany**, v. 140, p. 153-160, 2021.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.4, p.1015-1020, 2004.

REYNALDO, E. F.; MACHADO, T. M. Inspeção de distribuidores de fertilizantes sólidos na região centro sul do Estado do Paraná. **Revista Ceres**, v. 63, n.6, p. 893-898, 2016.

REYNALDO, E. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGER, L.; QUADROS, D. Distribuição de fertilizantes a lanço em função da qualidade do insumo. **Energia na Agricultura**, v. 31, n.1, p.24-30, 2016.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. BENSON, G. O. How a corn plant develops Ames: Iowa **State University of Science and Technology** (Special Report, 48). p. 26. 1993.

SANTOS, L. S. Análise da produção agrícola no corede fronteira oeste do rio grande do sul, no período de 1970 a 2017, através de métodos de cartografia temática. **Universidade Federal do Pampa**. Itaqui, RS. 2019.

SCHWALBERT, R.; AMADO, T. J.C.; HORBE, T. A. N.; STEFANELLO, L. O.; ASSEFA, Y.; PRASAD, P. V. V.; RICE, C. W.; CIAMPITTI, I. A. Corn Yield Response to Plant Density and Nitrogen: Spatial Models and Yield Distribution. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 970-982, 2018.

SOLEYMANI, A. Corn (*Zea mays* L.) yield and yield components as affected by light properties in response to plant parameters and N fertilization. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 15, p.173-180, 2018.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. **Revista e Ampliada**. 3º. ed. Porto Alegre, RS: Emater/RS. v. 2000. 252 p. 2018.

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SORGO CULTIVADO EM TERRAS BAIXAS

Application Methods of Nitrogen Fertilizer in Sorghum Cultivated in Lowlands

Thalles Fagundes de Fagundes¹; Arleston Pinheiro Saldanha¹; Vitoria Romero Garcia¹; Leticia Possel¹; Leonardo Hohm Haas¹; Thalisson Nardon Fantinel¹; Amanda Rithieli Pereira dos Santos¹; Vinícius dos Santos Cunha¹

¹ Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Av. Tiarajú, 810, 97546-550, Alegrete – Rio Grande do Sul, Brasil, thallesfagundes.aluno@unipampa.edu.br, arlestonsaldanha.aluno@unipampa.edu.br, vitoriagarcia.aluno@unipampa.edu.br, leticiapossel.aluno@unipampa.edu.br, leonardohaas.aluno@unipampa.edu.br, thalissonfantinel.aluno@unipampa.edu.br, amandasantos@unipampa.edu.br, viniciuscunha@unipampa.edu.br.

RESUMO

O método de aplicação de nitrogênio é uma alternativa que pode ser utilizada para melhorar o manejo do nitrogênio (N) no sorgo. O objetivo deste trabalho foi avaliar três métodos de aplicação da adubação nitrogenada sobre o sorgo, em terras baixas. O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Pampa Campus Alegrete, na safra 2022/2023. O estudo foi composto por três tratamentos, implementados manualmente, representados pelos métodos: Tradicional (T1), com adubação nitrogenada aplicada a lanço em área total; Incorporado (T2), com adubação nitrogenada incorporada ao solo, antes da semeadura; Precisão (T3), com adubação nitrogenada aplicada de modo dirigido, à lanço, próximo da linha de cultivo. Utilizou-se ureia como fonte nitrogenada, contendo 44% de N. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 4 repetições, sob sistema sulco-camalhão. Os tratamentos influenciaram significativamente o número de grãos por panícula e, consequentemente, a produtividade, sendo que T1 apresentou maior produtividade, seguido do T2 e T3. Com isso, a produtividade e uso do nitrogênio podem ser incrementados por essa estratégia de manejo do N em sorgo.

Palavras-chave: Manejo de nitrogênio com precisão. Sulco-camalhão. Uso eficiente de nitrogênio.

ABSTRACT

The nitrogen application method is an alternative that can be used to improve nitrogen (N) management in sorghum. The goal of this study was to evaluate three methods of nitrogen fertilizer application on sorghum in lowland areas. The experiment was conducted at the Federal University of Pampa Campus Alegrete during the 2022/2023 crop season. The study consisted of three treatments applied manually, represented by the following methods: Traditional (T1), with nitrogen fertilizer broadcasted across the entire area; Incorporated (T2), with nitrogen fertilizer incorporated into the soil before sowing; Precision (T3), with nitrogen fertilizer applied in a targeted manner, broadcast near the crop row. Urea was used as the nitrogen source, containing 44% N. The experimental design was a randomized block design with 4 replications under a furrow-ridge system. The treatments significantly influenced the number of grains per head and consequently, the grain yield, with the T3 showing the highest yield, followed by the T2 and T1. Thus, grain yield and nitrogen utilization can be increased through this nitrogen management strategy in sorghum.

Keywords: Precision nitrogen management. Furrow-ridge system. Efficient use of nitrogen.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma poácea possuidora de metabolismo C4, tendo como centro de origem a África e parte da Ásia, sendo, portanto, uma cultura adaptada às condições de clima tropical, apresentando ainda considerável rusticidade (CARCEDO; CIAMPITTI, 2023). De acordo com dados da Conab (2023), nos últimos 5 anos, o cultivo do sorgo cresce no Brasil a uma taxa de 124.315,00 ha.ano⁻¹, sendo que na safra 2022/23 o incremento foi de 277.300,00 ha em relação à safra anterior. Esse incremento em área apresentado significa um aumento médio de 13,29% na área cultivada a cada safra.

O interesse pelo cultivo do sorgo se deve a sua diversidade de usos, que pode servir tanto para nutrição animal como humana (BORÉM et al., 2014). No Brasil, o cultivo do sorgo se concentra nos tipos granífero, forrageiro (corte e pastejo), silageiro, sacarino, biomassa e vassoura (BORÉM et al., 2014). O Rio Grande do Sul em tempos passados apresentava-se como um importante estado produtor, porém hoje a área da cultura no estado reduziu muito. Com o advento do sistema sulco-camalhão, boa parte das áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado, em solos hidromórficos, vem sendo ocupadas com culturas anuais, principalmente soja e milho (CAMPOS et al., 2021). O advento desse sistema, que permite tanto irrigação como drenagem dessas áreas, pode contribuir para o aumento da exploração do sorgo na região.

Apesar do aumento do interesse no cultivo do sorgo, representado pelo incremento anual no tamanho de sua área, a produtividade da cultura não vem aumentando na mesma taxa nos últimos anos. O aumento médio da produtividade da cultura é da ordem de 38,085 kg. ha⁻¹, que representa aumento médio de 4,67%. Apesar da já relatada rusticidade da cultura, o sorgo é sensível ao manejo, sendo demandante de boas práticas de manejo para alcance de alta produtividade (CARCEDO; CIAMPITTI, 2023). Dessa forma, a cultura deve também ser objetivo de estudos com o intuito de melhorar as práticas de manejo, com vistas ao aumento de produtividade. Uma das práticas que devem ser otimizadas para a cultura, é o manejo do nitrogênio (N).

O N é um dos elementos requeridos em maior quantidade pela cultura, sendo aquele extraído em maior quantidade pela cultura (REYES-CABRERA et al., 2023). Porém, no solo o nitrogênio passa por diversas interações, podendo sofrer diversas perdas para o ambiente, o que dificulta seu manejo e reduz a eficiência. Destaca-se as perdas por volatilização, que se dá pela oxidação do N no solo durante a desnitrificação, deixando o sistema na forma de gás, contribuindo ainda para o aumento do efeito estufa (LI et al., 2022), e lixiviação. No processo de lixiviação, a baixa afinidade do nitrato com os colóides do solo faz com que o elemento seja perdido em profundidade no perfil de solo, podendo atingir águas subsuperficiais (LAPORTE et al., 2021). Conforme o trabalho de Laporte et al. (2021), uma das formas de reduzir a perda de N nos sistemas agrícolas é por meio da utilização de formulações especiais, que reduzem a atividade da enzima urease, ou mesmo fazendo o manejo da formulação. A forma comumente utilizada, para disponibilização de N no Brasil, é a ureia, sendo esta a forma que apresenta os maiores valores de perdas por volatilização (LI et al., 2022). Uma alternativa é o uso de outras fontes, como sulfato de amônio ou mesmo nitrato de amônio. Porém, alguns entraves para utilização dessas formas, como o custo, limitam seu uso.

Outra alternativa de melhoria na eficiência do N, para o sorgo, está relacionada ao método de aplicação, principalmente aquele N que é, hoje, aplicado em cobertura, durante o período de crescimento vegetativo da cultura (BORÉM et al., 2014). Atualmente, a quase totalidade das aplicações de N em cobertura são realizadas por meio de distribuidores centrífugos de disco horizontal. Esse método apresenta vantagens como a capacidade operacional, assim como a facilidade de execução e custo de aquisição do equipamento. Porém, constantemente a

uniformidade de aplicação é aquém do esperado, o que dificulta o alcance de altas produtividades. Conforme Reynaldo e Machado (2016), todos os distribuidores centrífugos avaliados no estado do Paraná foram reprovados, em função de que, entre outros parâmetros, apresentaram coeficiente de variação de até 80%. O problema da desuniformidade de aplicação nesses distribuidores pode ser reduzido com o uso de fertilizante com maior qualidade física (REYNALDO et al., 2016), algo ainda pouco frequente.

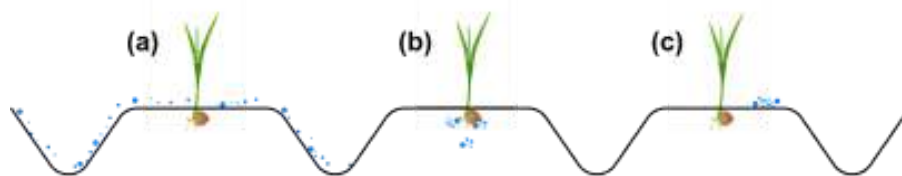
Outros métodos de aplicação de N são a incorporação em pré-semeadura ou mesmo uma aplicação a lanço com o uso de distribuidores pneumáticos, onde o fertilizante é distribuído próximo da linha de cultivo. Ambas as metodologias já foram testadas em milho por Martins et al. (2014) e Pöttker e Wiethölter (2004). Estes últimos autores estudaram o efeito da incorporação do N em pré-semeadura do milho, não observando aumento de produtividade da cultura. O aumento de produtividade do milho também não foi observado por Martins et al. (2014), ao comparar a adubação a lanço em área total com um método onde o N foi colocado próximo da linha de cultivo. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar três métodos de aplicação da adubação nitrogenada sobre a produtividade do sorgo cultivado em terras baixas, no município de Alegrete, localizado no Bioma Pampa brasileiro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal do Pampa Campus Alegrete, localizada nas coordenadas geográficas 29° 47' 44"S, 55° 45' 47"O, com altitude de 100 metros, em topografia plana, no município de Alegrete, RS. O solo da área é classificado como Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário, pertencente à unidade de mapeamento Pedregal (STRECK et al., 2018). Alegrete está localizada na região fisiográfica da Fronteira Oeste do Estado Rio Grande do Sul tendo, segundo a classificação de Köppen, clima mesotérmico e úmido, definindo-se como do tipo fundamental Cfa, caracterizado como subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). Nos últimos 15 anos, a temperatura média anual é de 18,3°C e a precipitação pluvial média anual 1.502,7 mm (INMET, 2023).

O estudo foi composto por três tratamentos (T), representados pelo método de aplicação da adubação nitrogenada, sendo: Tradicional (T1), com adubação nitrogenada de cobertura aplicada no modo tradicional, a lanço, distribuída na área total, simulando o trabalho de um distribuidor centrífugo de discos horizontais; Incorporado (T2), com toda a adubação nitrogenada que seria aplicada em cobertura sendo incorporada ao solo, antes da semeadura; Precisão (T3), com adubação nitrogenada de cobertura aplicada de modo localizado, à lanço, próximo da linha de cultivo. A implementação dos tratamentos se deu de modo manual, buscando simulá-los no campo, os tratamentos estão ilustrados na Figura 1. O manejo da adubação contou ainda com adubo de base, o qual disponibilizou 17% do total requerido de N, sendo o restante aplicado na forma dos tratamentos descritos, utilizando ureia como fonte, contendo 42 % de N. As adubações de cobertura, realizadas para disponibilizar o total de N restante, nos tratamentos Tradicional e Precisão, foram parceladas quando as plantas tinham 3 e 8 folhas com colar desenvolvido, sendo 60% e 40% nessas fases, respectivamente.

Figura 1 – Desenho demonstrativo dos métodos de aplicação de nitrogênio



Legenda: Método Tradicional (T1, a), Incorporado (T2, b) e Precisão (T3, c).

Fonte: Autor (2023).

De acordo com o laudo de análise de solo, seria necessário a aplicação de 120 kg de N.ha⁻¹, 145 kg de P₂O₅.ha⁻¹ e 70 kg de K₂O.ha⁻¹, para alcançar produtividade de 7000 kg de sorgo.ha⁻¹. Para suprir essa demanda, utilizou-se como fonte de adubação de base a fórmula 04-25-12, composta por 4% de N, 25% de P₂O₅ e 12% de K₂O, com aplicação de 600 kg da fórmula 04-25-12 ha⁻¹, à lanço em área total, logo após a semeadura do sorgo, e ureia (44%) em cobertura, conforme descrito acima. Tanto o pH do solo como a saturação por bases (V%), apresentaram valores dentro da faixa ideal (6,0 para o pH e 70% para V%), não necessitando da aplicação de corretivos. A recomendação de adubação seguiu o preconizado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016).

Para a implantação do experimento, procedeu-se a semeadura manual do híbrido Nussed Fox, com densidade de semeadura de 200.000 sementes.hectare⁻¹, no dia 19/12/2022. O manejo e os tratos culturais referentes de plantas daninhas, insetos-praga e doenças foram realizados de modo a garantir proteção e nível de dano a não comprometer os resultados experimentais, sempre respeitando o preconizado pela pesquisa.

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Quando as especificidades das unidades experimentais possuíam as seguintes dimensões: 4 metros de comprimento e 2,4 metros de largura, totalizando 9,6 m². O espaçamento entre fileiras foi de 80 centímetros, totalizando 3 linhas de cultivo em cada unidade experimental, considerando como área útil, em cada unidade, a linha central.

Para a implantação do experimento fez-se necessário o preparo do solo, para o qual utilizou-se um arado para fazer a aração, seguido de uma gradagem com uma grade niveladora. Na sequência, sem a suavização do terreno, para correção de imperfeições, foi implantado o sistema sulco-camalhão, seguindo a metodologia de Campos et al. (2021), que permitiu a irrigação por politubos e permitiria, caso fosse necessário, a drenagem da área. O terreno possui declividade de 1,1% que, conforme mencionado acima, foi mantida.

O manejo da irrigação foi baseado em turno de rega variável, conforme a evapotranspiração da cultura, sendo as lâminas compostas pela reposição da Evapotranspiração da cultura (ETc), conforme metodologia proposta por Dorenbos e Kassam (1979). Com os dados meteorológicos (INMET, 2023), associados à capacidade de armazenamento de água do solo medida em 43 mm, foi calculado o balanço hídrico de cultivo, com e sem irrigação, para o cultivo do sorgo.

Como variáveis resposta, mediu-se: população de plantas (PP, nº de plantas.ha⁻¹), índice de área foliar (IAF, m² de folhas.m⁻² de área de solo), altura de planta (AP, metros), diâmetro do colmo (DC, centímetros), número de colmos. planta⁻¹ (NCP), número de panículas. planta⁻¹ (NPP), número de grãos. panícula⁻¹ (NGP), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG, kg.ha⁻¹). Com exceção de PP, NGP e PG, todas as variáveis foram geradas através de 10 plantas marcadas em sequência, no centro de cada parcela. O IAF foi medido no florescimento, aos 55

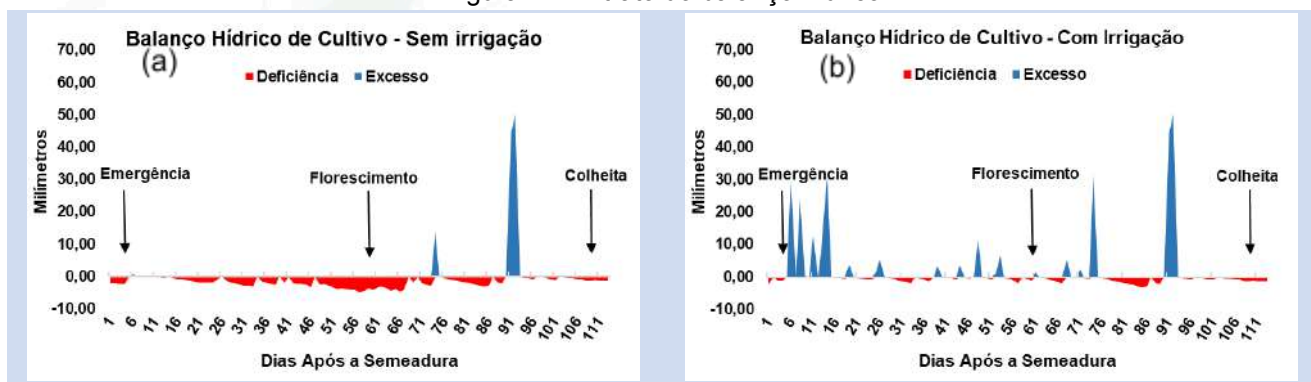
dias após a semeadura. A altura de planta foi medida na inserção da panícula da planta mãe. O DC foi medido acima do 1º nó visível acima do solo, na planta mãe. A PG foi determinada pela colheita direta das parcelas, seguidas da debulha e limpeza dos grãos. O NGP foi determinado pela relação entre NPP, MMG e PG. A MMG e a PG tiveram seu passo úmido descontado, de modo que seus valores representam grãos de sorgo com 13% de umidade. Plantas com mais de uma espiga tiveram sua altura de inserção medida na espiga de altura inferior.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R, utilizando os pacotes easyanova (ARNHOLD, 2013) e MultivariateAnalysis (AZEVEDO, 2022). Quando a ANOVA demonstrou ter efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott, com um nível de probabilidade de erro de 5%. O pacote MultivariateAnalysis foi utilizado para análise de componentes principais no software R (R CORE TEAM, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando o extrato do balanço hídrico para o sorgo, durante o período do experimento, em situação sem irrigação, a cultura estaria em deficiência hídrica na fase de emergência e grande parte do período de florescimento e enchimento dos grãos (Figura 2a). Embora a cultura de sorgo apresente certa tolerância a essa condição, é importante que nessas fases a cultura tenha boa disponibilidade hídrica, para alcance de alta produtividade e melhoria no aproveitamento do N (LI et al., 2022).

Figura 2 – Extrato do balanço hídrico.



Legenda: Extrato do balanço hídrico de cultivo, para o sorgo, em situação sem (a) e com (b) irrigação.

Fonte: Autor (2023).

Com isso, o uso da irrigação preservou boa parte da produtividade da cultura na referida safra, pois diminuiu o tempo total em que esteve submetida a situações de déficit (Figura 2b). Porém, alguns déficits foram observados durante o período vegetativo e próximo do florescimento, em função da indisponibilidade do sistema de irrigação em alguns momentos. Esses períodos de déficit, associados a altas temperaturas e velocidade do vento (INMET, 2023), reduziram o potencial produtivo da cultura, impactando a produtividade do experimento como um todo.

A Tabela 1 apresenta o resumo da análise de variância, por meio da probabilidade de significância dos tratamentos, juntamente da média geral e coeficiente de variação (CV, %). As variáveis NGP e PG foram influenciadas significativamente pelos tratamentos. As demais variáveis não foram afetadas pelos tratamentos.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância.

Variável	Média Geral	CV (%)	P
PP	108854,17	25,3	0,1494ns*
IAF	3,83	23,86	0,2369ns
AP	99,87	4,78	0,1653ns
DC	2,378	4,97	0,7832ns
NCP	1,20	9,56	0,2374ns
NPP	1,11	9,19	0,2495ns
NGP	1044,18	23,74	0,0097**
MMG	25,21	0,42	0,1895ns
PG	3016,84	22,48	0,0048**

Legenda: Média geral, coeficiente de variação (CV, %) e probabilidade de significância pelo valor P extraído da análise de variância para as variáveis População de Plantas (PP), Índice de Área Foliar em VT (IAF), Altura de Plantas (AP), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Colmos.planta⁻¹ (NCP), Número de Panículas.Planta⁻¹ (NPP), Número de Grãos.Panícula⁻¹ (NGP), Massa de Mil Grãos (MMG) e Produtividade de Grãos (PG) de sorgo em função do método de aplicação de N.

*ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro; **: significativo a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor (2023).

A Tabela 2 apresenta as médias das variáveis analisadas, não havendo efeito significativo na análise de variância para a maioria das variáveis, significa que os tratamentos propiciaram condições similares ao crescimento e desenvolvimento do sorgo. Porém, os tratamentos T3 e T2 incrementaram o tamanho da panícula e, conseqüentemente, a produtividade da cultura frente ao tratamento T1. O tamanho da panícula, aqui representado pela variável NGP, é um componente primário da produtividade do sorgo, sendo aquele que é mais influenciado pelo manejo (TOLK et al., 2013; CARCEDO; CIAMPITTI, 2023). Porém, por meio da análise de variância, seguida pelo teste de comparação de médias, não é possível concluir se existe diferença entre os tratamentos Precisão e Incorporado, para as variáveis NGP e PG.

Tabela 2 - Médias dos resultados obtidos no experimento.

Tratamento	PP	IAF	AP	DC	NCP	NPP	NGP	MMG	PG
T1	103125	3,12	97	2,4	1,20	1,08	574 B	25,3	1672 B
T2	89844	4,12	104	2,4	1,12	1,05	1349 A	25,1	3104 A
T3	133594	4,26	99	2,3	1,28	1,18	1208 A	25,3	4275 A

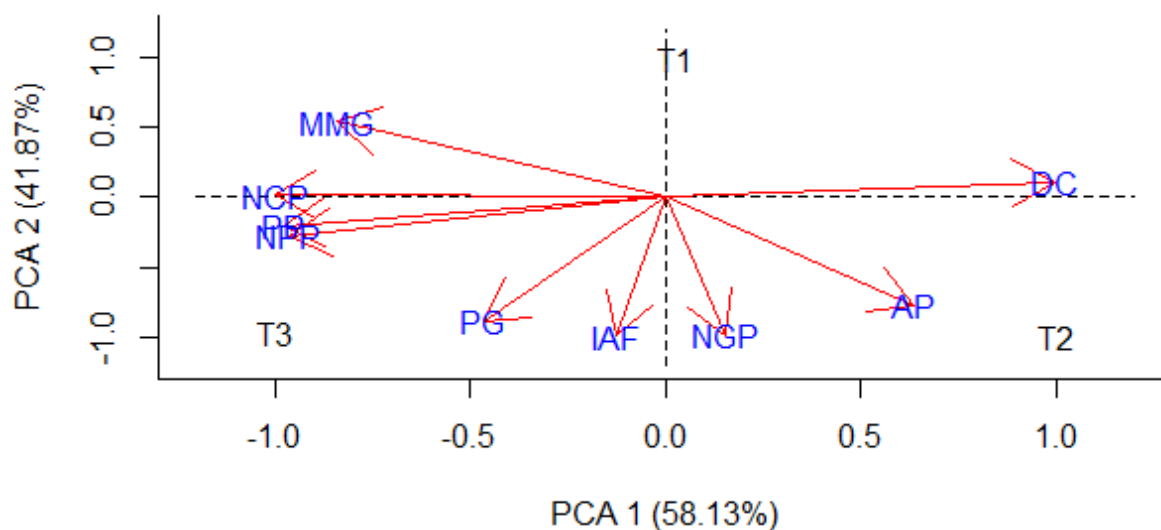
Legenda: Médias das variáveis População de Plantas (PP), Índice de Área Foliar em VT (IAF), Altura de Plantas (AP), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Colmos. planta⁻¹ (NCP), Número de Panículas.Planta⁻¹ (NPP), Número de Grãos.Panículas⁻¹ (NGP), Massa de Mil Grãos (MMG) e Produtividade de Grãos (PG) de sorgo em função do método de aplicação de N.

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor (2023).

Com o intuito de analisar uma possível diferença entre os tratamentos T3 e T2, não observada nos testes apresentados anteriormente, a Figura 3 apresenta a análise de componentes principais. Toda a variabilidade apresentada nesse experimento pôde ser representada nos dois componentes principais.

Figura 3 – Análise de componentes principais utilizando as variáveis analisadas



Legenda: População de Plantas (PP), Índice de Área Foliar em VT (IAF), Altura de Plantas (AP), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Colmos.Planta⁻¹ (NCP), Número de Panículas.Planta⁻¹ (NPP), Número de Grãos.Panículas⁻¹ (NGP), Massa de Mil Grãos (MMG) e Produtividade de Grãos (PG) de sorgo em função do método de aplicação de N.

Fonte: Autor (2023).

Ambas as análises estatísticas utilizadas, evidenciam que o tratamento Tradicional apresentou desempenho inferior aos demais, reforçando a ideia de que o manejo do N na cultura pode ser melhorado pelo método de aplicação, no sorgo. Esse resultado diverge dos resultados de Pöttker e Wiethölter (2004) e Martins et al. (2014), que não observaram vantagem do uso do tratamento T3 e T2, para o milho. Ainda, por meio da análise de componentes principais é possível perceber que a PG do sorgo tende a ser mais próxima do T3, o que significa dizer que esse tratamento incrementou a produtividade da cultura, em relação aos demais, diferenciando-o também do T2. A metodologia de aplicação de N no T3, demanda investimentos, ou mesmo, adaptações em equipamentos utilizados com este fim, em uma propriedade.

Com isso, é necessário ainda uma avaliação financeira, que leve em consideração o custo relacionado ao equipamento, o total de área ocupada pelo sorgo em cada safra, assim como o seu valor de mercado e custo do N. Porém, o método apresenta-se como promissor para a cultura, podendo aumentar sua produtividade assim como melhorar a eficiência do N nos sistemas de produção. A literatura apresenta um considerável número de publicações que focam no estudo da dose ótima do N em diversos cultivos um exemplo é o trabalho de Reyes-Cabrera et al. (2023), que utilizando o método T1 para disponibilizar N em cobertura, encontraram máxima eficiência com aplicação de 100 kg de N.ha⁻¹. É possível que com o tratamento T3, essa dose de máxima eficiência possa ainda ser reduzida, mantendo o aumento de produtividade.

Contudo, é importante também dissertar sobre o efeito dos tratamentos sobre a formação dos componentes da produtividade da cultura, que culminaram no aumento da produtividade da cultura, tendo como base a Figura 3. De maneira geral, pode-se dizer que a cultura teve dificuldades em formar o primeiro componente, que é o número de plantas por unidade de área, aqui representado por PP. 200.000 mil sementes.ha⁻¹ foram semeadas e o tratamento T3 foi o que conseguiu estabelecer maior número de plantas, chegando a 66,79% do total semeado, seguido de 51,56% e 44,92% do Tradicional e Incorporado, respectivamente. O alcance de um estande mais uniforme de planta deve ainda ser melhorado, para a exploração das culturas nas terras

baixas do RS, assim como já vem sendo alcançado com a soja e o milho cultivados na região (CAMPOS et al., 2021).

Os resultados obtidos reforçam essa necessidade, uma vez que o tratamento que obteve os melhores valores de PP, é aquele que apresentou influência mais positiva e relacionada ao IAF. Um estande uniforme, permite maior eficiência na interceptação de radiação solar pela comunidade de plantas, o que culmina, também, em maior eficiência do uso do N (TOLK et al., 2013; CARCEDO; CIAMPITTI, 2023; REYES-CABRERA et al., 2023), sendo esse, talvez, o principal motivo do aumento de PG no tratamento Precisão. O tratamento T3 é também aquele que proporcionou maior prolificidade ao sorgo, haja vista o seu desempenho sobre a variável NPP. Desta forma, percebe-se que o método de aplicação de N, no sorgo, incrementa a utilização dos recursos do meio pela cultura.

Importante também comentar a respeito do desempenho dos demais tratamentos, principalmente o Incorporado, uma vez que essa maneira de disponibilizar o N vem sendo utilizado por produtores, principalmente previamente ao cultivo do milho no norte do RS. O método representa a necessidade de uma operação, antes da semeadura, sendo que seu custo pode ser superior ao custo relacionado ao método T1. Em nosso estudo, o desempenho do T2 apresenta-se como intermediário, sendo superior ao T1. Usualmente, produtores utilizam uma semeadora-adubadora presente na propriedade, podendo esse método ser uma alternativa ao Precisão, que pode demandar um investimento alto para adquirir novo equipamento ou adaptar o já existente. Porém, reforça-se a necessidade de uma avaliação econômica que sustente sua recomendação.

Entretanto, o tratamento T2 é o que obteve o pior desempenho sobre o primeiro componente da produtividade da cultura do sorgo, a PP. O alcance de uma produtividade intermediária, mesmo sob um baixo número de plantas, evidencia outro ponto importante da cultura do sorgo, que é sua capacidade de compensação. A incorporação do N pode reduzir a perda do elemento, tanto por volatilização como lixiviação (LI et al., 2022). Com isso, possivelmente o N incorporado apresentou-se disponível de modo a permitir que as plantas submetidas a essa incorporação pudessem formar panículas de maior tamanho, aqui representado pela variável NGP, sendo essa a variável que permitiu o desempenho intermediário desse tratamento. Pode-se afirmar isso, em função de que outros importantes componentes da produtividade, como MMG e NCP, foram mais relacionados ao T1 do que o T2.

Ao analisar os resultados, deve-se considerar que todos os tratamentos foram implementados manualmente, o que torna o coeficiente de variação da distribuição do N menor, principalmente no T1, dado que a distribuição é feita individualmente em cada unidade experimental. Assim sendo, podemos esperar um desempenho até mesmo inferior do sorgo sob o método T1, quando cultivado nas terras baixas do RS, haja visto precedentes negativos relacionados aos distribuidores centrífugos utilizados para esse fim. Como exemplo, Reynaldo e Machado (2016) reprovaram todos os distribuidores avaliados no estado do Paraná, com valores de coeficiente de variação alcançando valores de até 80%.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo identificou benefícios em diferentes estratégias de fornecimento de N para a cultura do sorgo, sendo que o tratamento Precisão (T3) propiciou os maiores índices de produtividade de grãos da cultura do sorgo, seguido do método Incorporado (T2) e Tradicional (T1), respectivamente. Deve-se avaliar o custo relacionado com os métodos Precisão e Incorporado antes de fazer a migração para um dos métodos.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONCALVES, J.L. de M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.113, p.407-427. 2013.
- ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.50, n.6, p.488-492, 2013.
- AZEVEDO, A. M. **Package ‘MultivariateAnalysis’**. 2022. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/MultivariateAnalysis/MultivariateAnalysis.pdf>> Acesso em: 20/09/2023.
- BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. **SORGO: do Plantio à Colheita**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014. v. 1. 275 p.
- CAMPOS, A. S.; CENTENO, A.; ANDRES, A.; PARFITT, J. M. B.; MÉLLO- ARAUJO, L. B.; BUENO, M. V.; PINTO, M. A. B.; MARTINS, M. B.; VEBER, P. M.; SCIVITTARO, W. B. Utilização da Tecnologia Sulco-camalhão na Produção de Soja e Milho em Terras Baixas do Rio Grande do Sul. Documentos / **Embrapa Clima Temperado**. Impresso, v. 1, p. 01-32. 2021.
- CARCEDO, A. J. P.; CIAMPITTI, I. A. Sorghum producer yield contest: A synthesis-analysis of major management and environmental drivers. **Field Crops Research**, v. 296, p. 1-9, 2023.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **SÉRIES HISTÓRICAS DAS SAFRAS**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 24 de agosto de 2023.
- CQFS. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. p. 376. 2016.
- LAPORTE, A. D.; BANGER, K.; WEERSINK, A.; WAGNER-RIDDLE, C.; GRANT, B.; SMITH, W. Economic and environmental nitrate leaching consequences of 4R nitrogen management practices including use of inhibitors for corn production in Ontario. **Journal of Environmental Management**, v. 300, 113739, 2021.
- DORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome, **FAO**, 1979, 193 p. (Irrigation and Drainage Paper 33).
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 05/07/2023.
- LI, T.; WANG, Z.; WANG, C.; HUANG, J.; FENG, Y.; SHEN, W.; ZHOU, M.; YANG, L. Ammonia volatilization mitigation in crop farming: A review of fertilizer amendment technologies and mechanisms. **Chemosphere**, v. 303, September 2022, 134944
- MARTINS, A. S.; CAZETTA, J. O.; FAKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 271-279. 2014.
- PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.4, p.1015-1020, 2004.

REYES-CABRERA, J.; ADAMS, C. B.; NIELSEN, J.; ERICKSON, J. E. Yield, nitrogen, and water-use efficiency of grain sorghum with diverse crown root angle. **Field Crops Research**, v. 294, 108878, 2023.

R Core Team (2023). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

REYNALDO, E. F.; MACHADO, T. M. Inspeção de distribuidores de fertilizantes sólidos na região centro sul do Estado do Paraná. **Ceres**, v. 63, n.6, p. 893-898, 2016.

REYNALDO, E. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGER, L.; QUADROS, D. Distribuição de fertilizantes a lanço em função da qualidade do insumo. **Energia na Agricultura**, v. 31, n.1, p.24-30, 2016.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. **Revista e Ampliada**. 3º. ed. Porto Alegre, RS: Emater/RS. v. 2000. 252 p. 2018.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; MILLER, F. R. Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress. **Field Crops Research**, v. 145, p. 44-51, 2013.

EFEITO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO VEGETAL NO CRESCIMENTO E COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTIVAR DE SOJA NEO 610 IPRO

Effect of plant growth regulators on the growth and yield components of soybean cultivar NEO 610 IPRO

Vinícius Augusto Steffler¹; Telmo Jorge Carneiro Amado²; Lucio De Paula Amaral²; Mateus Bortoluzzi³; João Carlos Luersen⁴

¹ Mestre em Agricultura de Precisão, PPGAP/UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, viniciussteffler@gmail.com

² Professor no Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, proftelmoamado@gmail.com; amaralufsm@gmail.com

³ Universidade de Passo Fundo/UPF, Campus I, Bairro São José, CEP: 99052-900, Passo Fundo — RS, mateusbortoluzzi@upf.br

⁴ Engº Agrônomo, Empresa Produza Insumos, Av. Dr. Waldomiro Graeff, 2694, Não-Me-Toque — RS, joaocarlosluersen@gmail.com

RESUMO

O trabalho teve como objetivo testar a eficiência de diferentes reguladores de crescimento na cultura da soja, com a cultivar NEO 610 IPRO, constituído por distintos produtos utilizados como reguladores de crescimento e roçada mecânica na cultura da soja. O experimento teve 9 tratamentos e 4 repetições. A aplicação dos produtos foi realizada no estádio V5 e V6 das plantas e a roçada nos estádios V6 e V8, respectivamente. Nas condições em que o trabalho foi desenvolvido destaca-se que no tratamento com Imazethapyr houve valores maiores para ramificações. O tratamento que recebeu aplicação de 2,4 D ficou com as menores plantas, por conta de uma distrofia caulinar observada nas avaliações. O tratamento com Cinetina+GA3+AIB (Stimulate®) apresentou os maiores valores de peso de mil grãos e índice de área foliar. São necessários mais estudos em diferentes anos agrícolas para melhor entendimento da ação dos reguladores de crescimento a fatores climáticos.

Palavras-chave: *Glycine max*, Produtividade da soja, Arquitetura de plantas, Biorreguladores

ABSTRACT

This study tested the efficiency of different growth regulators in growth and yield components of soybean using the NEO 610 IPRO cultivar. The experiment consisted of different products that are used as growth regulators and mechanical mowing in soybean cultivation, with 9 treatments and 4 replications. The products were sprayed at the V5 and V6 stages of the plants and mowed at the V6 and V8 stages, respectively. Under the conditions in which the research was carried out, the treatment with Imazethapyr showed higher values in the branches. The treatment that received 2.4 D had the smallest plants, due to stem dystrophy observed in the evaluations. The treatment with Cinetin+GA3+AIB (Stimulate®) had the highest values of thousand grain weight and leaf area index. More studies are needed in different agricultural years to better understand the action of growth regulators under climatic factors.

Keywords: *Glycine max*, Soybean productivity, Plant architecture, Bioregulators

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), é uma das principais culturas produtoras de grãos cultivadas em todo mundo, é uma das principais sendo uma “commodity” com bastante expressividade para o mercado nacional. O Rio Grande do Sul, se destaca dentre os estados do sul do Brasil em produção, com crescimento na área de produção e na produtividade. Com o intuito de aumentar os tetos produtivos da soja, tecnologias inovadoras vêm sendo estudadas. Pesquisas com reguladores de crescimento, hormônios vegetais e também manejos de poda mecânica de plantas vêm sendo utilizadas, o que resultaria em acréscimo de rendimento. Condições adversas podem ocasionar diminuição da capacidade de rendimento de grãos, uma dessas condições que pode gerar perdas é o acamamento das plantas. Alguns fatores podem levar as plantas ao acamamento como a alta densidade de plantas, alto fornecimento de água, excesso de nitrogênio e também locais de cultivo que apresentam maior altitude sendo mais evidente acima dos 700 m.

Dentre os manejos nas lavouras para alcançar alta produtividade na soja, estão sendo utilizados reguladores de crescimento. O produto tende a cessar o crescimento em altura da planta e induzir a formação das ramificações laterais. Isso proporciona maior formação de nós reprodutivos, possibilitando maior número de flores e vagens por planta e com isso aumento na produtividade.

Alguns compostos considerados reguladores vegetais compostos por giberelinas, auxinas, etileno, inibidores da protoporfirinogênio oxidase (Protox) e bioestimulante (citocinina + giberelina + auxina) são produtos citados como reguladores que podem influenciar no desenvolvimento vegetativo das plantas, levando a mudanças nas características dos componentes de rendimento. As auxinas (2,4 D) exercem função indispensável no alongamento e expansão celular, possibilitando o crescimento de raízes e caules. Com emprego em altas concentrações, as auxinas são capazes de modificar o desenvolvimento da parte aérea das plantas (BARBOSA et al., 2023).

Em relação ao uso de reguladores de crescimento pode-se inferir também que as cultivares modernas de soja com elevado potencial produtivo são amplamente testadas e difundidas nas diversas regiões, porém alguns problemas como o crescimento excessivo, o acamamento e o auto sombreamento da cultura, podem atrapalhar seu potencial de rendimento. Características como cultivares de hábito de crescimento indeterminado, solos com altos níveis de fertilidade e elevadas populações de plantas podem favorecer a alta taxa de crescimento das plantas. A situação descrita pode ser amenizada ou solucionada com o plantio de outra variedade de soja, reduzindo a adubação nitrogenada principalmente ou diminuindo a população de plantas por hectare, podendo ser utilizada técnicas de agricultura de precisão através da taxa variável de sementes. Outra alternativa, está no uso de herbicidas em baixas doses se tornando reguladores de crescimento para reduzir o porte do dossel, o acamamento e o auto sombreamento nessas cultivares.

Mesmo observando os benefícios que os reguladores de crescimento podem proporcionar à agricultura, é prudente ter cautela ao usar esses métodos, pois se utilizados de maneira empírica, podem levar prejuízos à produção. Os reguladores podem levar a injúria ou fitotoxicidade às plantas, de acordo com a dose utilizada ou as características de cada cultivar aos produtos (BARBOSA et al., 2023).

O presente trabalho se justifica pela importância econômica que a produção de grãos e sementes de soja representa na região de estudo, também pela busca de manejos das lavouras onde se busca fazer com que a cultura expresse todo seu potencial produtivo. A utilização de manejos destinados a regulação de porte de plantas como usos de produtos hormonais

bioreguladores, herbicidas em sub doses e poda mecânica, quais seus efeitos e os seus reais benefícios para a cultura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de produtos e poda mecânica aplicados na parte aérea da soja, utilizados por produtores de grãos e sementes para reduzir a estatura de plantas de soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi desenvolvido no município de Não-Me-Toque, no norte do estado do Rio Grande do Sul, na área experimental da empresa Produza Insumos que apresenta as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 28° 27' 28" Sul, Longitude: 52° 49' 19" Oeste, situado a 495 metros de altitude.

O experimento foi constituído por distintas ferramentas utilizadas como regulador de crescimento na cultura da soja (Tabela 1). O delineamento experimental adotado foi o de Blocos Casualizados (DBC), sendo empregados 9 tratamentos, com 4 repetições. Foram avaliados estatura de plantas, a altura da inserção do primeiro nó, número de nós na haste principal, número de ramificações laterais, número de nós nas ramificações, número de vagens (haste principal, ramificação lateral e total), número de grão por planta de todas as vagens das plantas, peso de grãos, índice de área foliar e produtividade de grãos.

Tabela 1: Tratamentos, produtos utilizados e época de aplicação.

Tratamentos	Produtos	Doses	Época aplicação
T1	Testemunha	-	-
T2	Roçada mecânica	-	Estádio V5 - V6
T3	Roçada mecânica	-	Estádio V8
T4	Citocinina (MaxCel®)	40 ml/ha	V5 – V6
T5	Cinetina+GA3+AIB (Stimulate®)	500 ml/ha	V5 – V6
T6	Imazethapyr	300 ml/ha	V5 – V6
T7	Lactofen	400 ml/ha	V5 – V6
T8	2,4 D	45 ml/ha	V5 – V6
T9	Chlorimuron	50 ml/ha	V5 – V6

Fonte: Autores (2023)

2.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

A cultivar utilizada foi a NEO 610 IPRO da empresa NEOGEN® do grupo DONMARIO® sementes, onde a semeadura ocorreu no dia 25 de novembro de 2020, na safra 2020/21. As parcelas foram de 4 x 2 metros (comprimento e largura), totalizando 8 metros quadrados, as quais foram semeadas com uma semeadora modelo Panter® da marca Vence Tudo® possuindo 7 linhas com sulcador. A cultivar apresenta as seguintes características: grupo de maturidade relativa (GMR) 6.1, hábito de crescimento indeterminado, exigência alta a fertilidade, alto potencial de ramificação. Importante ressaltar que havia sido visualizado em outros campos o acamamento dessa cultivar e por este motivo o uso dela no presente estudo. O espaçamento entre linhas foi de 0,5 m, densidade de sementes de 320.000 sementes ha⁻¹. Foi utilizada adubação de base na linha de semeadura com MAP (11.52.00), 300 kg ha⁻¹ e KCL (00.00.60), 200 kg ha⁻¹ em cobertura a

lanço antecedendo a semeadura. O solo predominante no local é o Latossolo Vermelho Distrófico Típico (EMBRAPA, 2018).

Para a determinação das características químicas do solo onde o estudo foi implantado realizou-se a amostragem através da coleta com o método de pá de corte em uma profundidade de 0-10 cm. As aplicações dos produtos utilizaram subdoses de acordo com a indicação de empresas produtoras de sementes. Nos tratamentos com MaxCel® e Stimulate® a dose utilizada foi de acordo com a recomendação da empresa fabricante. Como visualizado na Tabela 1 a aplicação foi realizada nos estádios V5 (quinto nó) e V6 (sexto nó) das plantas, com auxílio de um pulverizador costal pressurizada com CO₂, que possui barra com 4 pontas cone vazio TXA 8002VK da marca Tejeet® e volume de calda de 100 L/ha realizado-se uma única aplicação. A roçada mecânica foi realizada manualmente com o auxílio de uma roçadeira costal a combustão da marca Still®, equipada com uma lâmina de aço, nos estádios de desenvolvimento V6 (sexto nó) e V8 (oitavo nó). O corte foi realizado a aproximadamente 10 cm do solo, deixando com que as plantas pudessem ter capacidade de rebrote.

2.3. AVALIAÇÕES DOS RESULTADOS

Para as avaliações dos componentes de rendimento e de variáveis de crescimento foram coletadas 3 plantas inteiras, aleatoriamente de cada repetição com auxílio de uma tesoura de poda, cortando as plantas no caule rente ao solo, as amostras foram identificadas com escrita com caneta preta em uma fita adesiva crepe branca, agrupadas por tratamentos, para posteriormente serem levadas para o escritório, onde foram realizadas todas as medições previstas. Foram avaliados a altura de plantas, com medida da base da planta até a ponta. Para a altura da inserção do primeiro nó da haste principal foram realizadas medidas da base da planta até os referidos pontos.

A determinação do número de ramificações laterais foi realizada através da contagem de todos os ramos das plantas, assim como o número de nós nas ramificações através de contagem. Para o número de vagens (haste principal, ramificação lateral e total), foi realizada a contagem manual; o número de grãos por planta foi através da abertura de todas as vagens das plantas manualmente e sua contagem. O peso de mil grãos foi realizado através da amostragem em uma tabuleta com 100 furos, coletou-se 5 tabuletas que somam 500 sementes, determinou-se o peso desse volume de grãos e multiplicou-se por 2 para obtermos o peso de 1000 grãos com auxílio de uma balança de precisão.

O índice de área foliar foi medido por meio do equipamento LI-COR®, modelo LAI-2200®, sendo feita no estádio R1 (florescimento) das plantas, sendo realizada a coleta em 3 pontos dentro da parcela, no dia 02 de fevereiro de 2021. Este equipamento é considerado um analisador de dossel de plantas, ele possui um sensor de modelo olho de peixe para recepção da luz, que utiliza de um método não destrutivo para determinar com facilidade e precisão o IAF.

A produção final de grãos foi determinada com auxílio de uma colhedora de parcelas, sendo a colheita realizada no dia 16/04/2021. Para essa tarefa descartou-se as linhas externas e colhemos somente as linhas centrais da parcela. As amostras foram levadas para a empresa e pesadas uma a uma em balança de precisão com escala em gramas, sendo determinada umidade e impureza. Para os cálculos de produtividade foi determinado a área colhida e transformada para hectare, a uniformização da umidade dos grãos considerando 12% descontando o percentual de impureza das amostras.

2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os valores obtidos na avaliação dos componentes de rendimento compuseram o banco de dados utilizados nas análises estatísticas subsequentes. Os dados foram testados com relação a sua normalidade pelos testes Shapiro-Wilk (resíduos) e Anscombe e Tukey (variâncias) e transformados quando necessário por meio do programa estatístico PAST (HAMMER, 2001). Posteriormente a normalização, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa estatístico SISVAR®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2). Destaca-se o tratamento Imazethapyr que obteve maiores valores exceto no número de nós na haste principal (NNHP). Em relação ao número de vagens nas ramificações, o tratamento com aplicação de Imazethapyr teve as maiores médias ficando com 49,5 vagens e o tratamento com Citocinina (MaxCel®) a menor média com 18,4 vagens nos galhos. As plantas que mais apresentaram ramificações foram a do tratamento Imazethapyr, média de 5.1 ramificações, seguindo de roçada em V8 com 4.8 ramificações e o menor número ficou no tratamento com Citocinina (MaxCel®) em média 3.3 ramificações.

As variáveis produtividade de grãos (PG), peso de mil grãos (PMG), altura de plantas (AP), altura de inserção do primeiro nó (AIPN), número de vagens na haste principal (NVHP) e índice de área foliar (IAF) na Tabela 3 apresentaram diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 2: Número de nós na haste principal (NNHP), número de ramificações (NR), número de nós nas ramificações (NNR), número total de vagens (NTV), número de vagens nas ramificações (NVR), número total de grãos por planta (NTG), peso total de grãos por planta (PTGP) nos distintos tratamentos em Não-Me-toque na safra 2020/2021.

Tratamento	NNHP	NR	NNR	NTV	NVR	NTG	PTGP
Controle	15,4 ^{ns}	3,8 ⁿ	4,9 ^{ns}	74,8 ^{ns}	34,7 ^{ns}	182,8	35,3 ^{ns}
Roçada V6	15	3,8	5,8	67,9	40,2	161,8	33,9
Roçada V8	17	4,8	4,4	74,4	37,2	182,8	35,4
Citocinina	14,8	3,3	3,2	55,3	18,4	136	27,1
Cinetina	15,8	3,8	3,7	68,4	26,3	162,3	31,3
+GA3+AIB	15,8	3,8	3,7	68,4	26,3	162,3	31,3
Imazethapyr	15,8	5,1	4,8	83,7	49,5	197,2	38,2
Lactofen	15,8	4,1	4,1	68,6	32	160,8	32
2,4D	14,8	4	4,6	76,7	42,3	180,5	31,6
Chlorimuron	14,9	4,6	4,6	70,3	36,9	172,1	32,9
Média	15,5	4,1	4,5	71,1	35,3	170,7	33,1
CV%	7	20,2	23,9	17	37,3	17,2	18,1

*Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: Autores (2023)

Importante salientar que o tratamento Roçada V8 obteve uma produtividade inferior comparado com o tratamento Roçada V6, mostrando que quanto mais tarde no ciclo da cultura realizar-se alguma forma deste tipo de manejo, poderá ocasionar em perdas de produtividade e menor peso de grãos. O controle teve o maior rendimento com 5817 kg ha⁻¹ seguido de

Imazethapyr com 5589 kg ha⁻¹, e o menor rendimento de grãos foi obtido no tratamento 2,4D com 4549 kg ha⁻¹ prejudicando a produtividade da cultura (Tabela 3).

Neste estudo o tratamento Cinetina+GA3+AIB (Stimulate®) apresentou o maior PMG chegando a 184,4 gramas, já o tratamento roçada em V8 apresentou o menor PMG com 173,8 gramas, seguido de 2,4D com 174,8 gramas, prejudicando o enchimento dos grãos de soja. O tratamento com Cinetina+GA3+AIB (Stimulate®) apresentou o maior índice de área foliar chegando a 8,1 m²/m², o manejo de roçada em V8 obteve o menor índice no valor de 5,7 m²/m², seguido de roçada em V6 no valor de 6,0 m²/m², correlacionando com decréscimos de rendimento de grãos de soja.

Tabela 3: Produtividade de grãos (PG), peso de mil grãos (PMG), altura de plantas (AP), altura de inserção do primeiro nó (AIPN), número de vagens na haste principal (NVHP) e índice de área foliar (IAF) nos distintos tratamentos em Não-Me-Toque-RS na safra 2020/2021.

Tratamento	PG (kg ha ⁻¹)	PMG (g)	IAF	AP (cm)	AIPN (cm)	NVHP
Controle	5817 a	180,0 abc	7,8 a	106,0 a	3,8 abc	40,1 ab
Roçada V6	5324 ab	177,5 bcd	6,0 bc	91,6 b	3,5 abc	36,9 ab
Roçada V8	5015 ab	173,8 d	5,7 c	98,0 ab	5,0 ab	35,2 ab
Citocinina	5556 a	181,1 ab	7,3 ab	103,5 a	5,0 ab	36,8 ab
Cinetina+GA3+AIB	5573 a	184,4 a	8,1 a	100,7 ab	5,5 a	42,0 a
Imazethapyr	5586 a	181,7 ab	7,6 a	98,6 ab	2,9 bc	34,1 b
Lactofen	5484 a	177,2 bcd	7,2 abc	99,6 ab	4,8 ab	39,8 ab
2,4D	4549 b	174,8 cd	7,1 abc	77,8 c	2,3 b	34,3 ab
Chlorimuron	5046 ab	179,3 abc	6,6 abc	99,3 ab	3,0 abc	33,3 b
Média	5328	178,8	7	97,2	4	36,9
CV%	7,2	1,2	9,3	1,1	26,4	8,7

*Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey, p > 0,05).
Fonte: Autores (2023)

O uso de herbicidas cessa o crescimento em altura da planta, induzindo a formação das ramificações laterais proporcionando maior formação de nós reprodutivos, possibilitando maior número de flores e vagens por planta (FOLONI et al., 2016).

A utilização de redutores de crescimento, inibidores da síntese de giberelina, permite aumentos de produtividade de grãos de soja por proporcionar crescimento radicular mais vigoroso e também devido a redução da estatura de plantas. Conforme o estudo, os incrementos na produtividade pelos reguladores de crescimento podem estar relacionados com a modificação estrutural da planta (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008)

A produtividade de grãos da soja é altamente correlacionada com os componentes da produção, ou seja, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de grãos. Tendo em vista que as condições climáticas foram favoráveis ao desenvolvimento da soja associada aos tratos culturais adequados, como adubação e controle fitossanitário, obtiveram-se altos valores de produtividade nos tratamentos analisados (BATISTA FILHO et al., 2013).

O peso de mil grãos (PMG) é uma medida importante se tratando sementes, pois de acordo com Schuch et al., (2009), o peso de grãos é um dos caracteres de grande importância para determinar a cultivar ou grupo de cultivares ideal, o mesmo proporciona a escolha de uma cultivar de soja pensando no potencial de rendimento de grãos. Sendo que a habilidade da planta e das sementes em acumular matéria seca e consequentemente seu peso está inicialmente no vigor de sementes, que tem efeito direto no potencial da planta a campo.

Com aplicações de reguladores de crescimento vegetal, o resultado esperado para a cultura da soja é o maior desenvolvimento de raízes, em massa e comprimento, com isso ocorrerá maior produtividade, devido aos hormônios encontrados no produto (STOLLER, 2011). Entretanto, neste trabalho podemos observar que no tratamento com Imazethapyr mesmo apresentando maior número de vagens (Tabela 3), não foi o que apresentou maior peso de mil grãos.

Por outro lado, um elevado IAF (acima de 4,0) produz altos sombreamento das folhas do terço inferior da planta, dificultando a transmissão de radiação dentro do dossel, com reflexo negativo na produção. Nessa condição, as folhas não recebem radiação suficiente para se manterem ativas e senescem, produzindo nós incapazes de produzir vagens, grãos e ramificação lateral (LIU et al., 2010).

Conforme Zanon et al. 2015 o maior IAF na soja acontece no estágio fenológico de início de enchimento de grão (R5), sendo que se torna gradualmente maior com o adensamento populacional (HEIFFIG et al. 2006). Linzmeyer Junior et al. (2008) viram que as diferenças na densidade populacional não modificam o IAF após o florescimento. Há poucas informações sobre a evolução do IAF da soja durante o ciclo de desenvolvimento em diferentes densidades de plantas, especialmente em cultivares modernas, com tipo de crescimento indeterminado, ciclo precoce e arquitetura compacta de plantas (RICHTER et al. 2014).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo verificamos que apesar dos reguladores serem uma ótima ferramenta para controlar a estatura de plantas, podem ocasionar a diminuição da produtividade de grãos da cultura soja.

Nas condições em que o trabalho foi desenvolvido pode-se concluir que: a altura de plantas, o tratamento que recebeu aplicação de 2,4 D ficou com as menores plantas, porém este tratamento apresentou injúria às plantas ocasionando perdas de produtividade se comparado a testemunha, devido a uma distrofia caulinar observada nas avaliações.

Para fatores relacionados ao peso de mil grãos e índice de área foliar o tratamento com Cinetina+GA3+AIB (Stimulate®), apresentou maiores valores comparado com os demais, por sua vez no manejo de roçada mecânica em estágio V6 e V8 tivemos uma menor área foliar e devido a isso um menor peso de mil grãos.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Adriano Silveira et al. Efeitos de reguladores vegetais nas características agronômicas de soja cultivada em baixa latitude. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 1, p. 1-19, 2023

BATISTA FILHO, Carlos Gilberto et al. Efeito do Stimulate® nas características agronômicas da soja. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 4, p. 76-86, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa -SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 5ª ed. 355p

FOLONI, J.S.S.; HENNING, F.A.; MERTZ-HENNING, L.M.; PIPOLO, A.E.; MELO, C.L.P. **Lactofen e etefon como reguladores de crescimento de cultivares de soja**. XXXV Reunião de Pesquisa de Soja, Londrina, p.42-45. 2016.

HAMMER, Øyvind; HARPER, David AT. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 1, 2001.

HEIFFIG, L.S.; CÂMARA, G.M.S.; MARQUES, L.A.; PEDROSO, D.B.; PIEDADE, S.M.S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. *Bragantia*, Campinas, v.65, n.2, p.285-295, 2006.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V. F.; SANTOS, D.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.

LIU, B.; LIU, X. B.; WANG, C.; JIN, J.; HERBERT, S. J.; HASHEMID, M. Responses of soybean yield and yield components to light enrichment and planting density. **International Journal of Plant Production**, v. 4, n. 1, p. 1735-8043, 2010.

RICHTER, Gean Leonardo et al. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 73, p. 416-425, 2014.

SCHUCH, L. O. B.; KOLCHINSKI, E. M.; FINATTO, J. A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 31, nº 1, p.144-149, 2009.

ZANON, Alencar Junior et al. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. **Bragantia**, v. 74, p. 279-290, 2015.

DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO POR IMAGENS NDVI PARA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO NO SISTEMA SOJA-MILHO

DEFINITION OF MANAGEMENT ZONES BY NDVI IMAGES TO ASSESS SOIL FERTILITY IN THE SOYBEAN-CORN SYSTEM

Omar Lopes Luciano¹; Maria Eduarda Sousa Caixeta²; Nathália Silva Porto²; Rian Soares Costa²,
Thais Caroline Costa Sousa², Walter Vieira da Cunha², André Luis Vian³

¹ Sollo Agro - ESALQ, Rua Antônio de Deus Vieira, 38.701-530, Patos de Minas – MG, Brasil, e-mail:
omarlopesluciano@gmail.com

² Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, Rua Major Gote, CEP: 38702-054, Patos de Minas -
MG, Brasil, E-mail: mariasousa1@unipam.edu.br; nathaliaporto2023@gmail.com;

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 91540-000, Porto Alegre – RS, Brasil,
e-mail: andre.vian@ufrgs.br

RESUMO

A agricultura de precisão permite um melhor gerenciamento dos insumos visando aumento da rentabilidade, desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a fertilidade do solo utilizando de zonas de investigação obtidas através de imagens NDVI do milho segundo safra. O estudo foi realizado em lavoura comercial, em sete talhões sendo determinadas zonas de manejo, realizada a amostragem de solo em três profundidades, coleta e avaliação de plantas e produtividade. As zonas de manejo foram delimitadas de acordo com seu potencial de produção de biomassa, sendo classificadas como baixo, médio e alto potencial, sendo observado uma redução dos valores médios de fósforo e um aumento dos valores de alumínio ao longo do perfil. Obteve-se maiores valores de P, K, Ca, V (%), CTC e areia para as zonas de manejo de BPPB, maiores valores de H+Al, Al, m (%), B, Zn, argila e silte para as zonas de manejo MPPB e maiores valores de M.O., Cu e S para as zonas de investigação de APPB. Na avaliação da área total houve relação para o potencial de produção de biomassa das ZM para altura de plantas, diâmetro de colmo, número de vagens, número de grãos e produtividade estimada.

Palavras-chave: Variabilidade espacial. Agricultura de Precisão. Manejo localizado.

ABSTRACT

Agricultural precision allows better management of inputs due to increased profitability, therefore the objective of this work was to evaluate soil fertility using investigation zones obtained through NDVI images of the second corn harvest. The study was carried out in commercial farming, in seven plots with management zones determined, soil sampling was carried out at three depths, collection and evaluation of plants and productivity. The management zones were delimited according to their biomass production potential, being classified as low, medium and high potential, with a reduction in average phosphorus values and an increase in aluminum values being observed along the profile. Higher values of P, K, Ca, V (%), CTC and sand were obtained for the BPPB management zones, higher values of H+Al, Al, m (%), B, Zn, clay and silt for the MPPB management zones and higher M.O., Cu and S values for the APPB investigation zones. When evaluating the total area, there was a relationship between the biomass production potential of the ZM and plant height, stem diameter, number of pods, number of grains and estimated productivity.

Keywords: Spatial variability. Precision agriculture. Localized management agriculture.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max*) e do milho (*Zea Mays*) possuem uma alta demanda nutricional para o atingir altos potenciais produtivos, sendo essa necessidade influenciada por fatores ambientais e de manejo. Os solos brasileiros, em sua maior proporção possuem uma baixa fertilidade química natural, necessitando altas doses de corretivos e fertilizantes. Apesar do alto consumo de fertilizantes, o Brasil é dependente da importação de fertilizantes intermediários e complexos NPK, sendo em 2021 importados aproximadamente 85% do consumo total (ANDA, 2022).

Em vista do aumento dos custos de produção, principalmente com corretivos e fertilizantes, o uso de ferramentas de agricultura de precisão (AP), que se caracteriza por ser um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade de produção, permite gerar valor a partir das informações coletadas em campo, melhorar as decisões de manejo e aumentar a produtividade e o retorno econômico da lavoura.

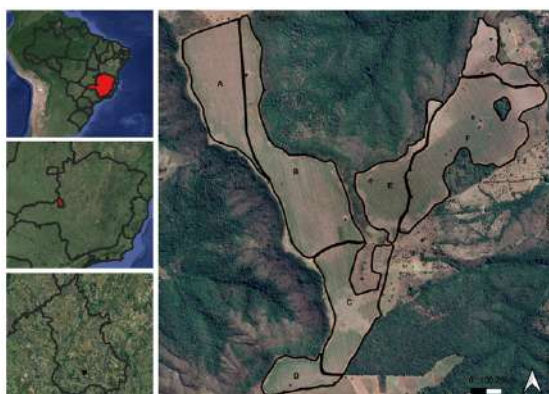
Uma das principais ferramentas da AP é a utilização do sensoriamento remoto, que permite a captura de informações das áreas produtivas. Os índices de vegetação são os produtos do sensoriamento remoto, que permitem que possamos avaliar o desenvolvimento das plantas em relação ao vigor do dossel vegetativo, índice de área foliar, teor de clorofila e de biomassa vegetal, correlacionando-se com a variação de biomassa e a produtividade da soja e milho. Com base na correlação entre NDVI com a biomassa e produtividade do milho e soja, pode ser usado para a geração de zonas de manejo, que é a subdivisão do sistema em pequenas áreas que tenha o menor grau de diferença entre si, para o direcionamento da coleta de solo permitindo maior detalhamento dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fertilidade química do solo e sua correlação com a produtividade da soja utilizando zonas de investigação obtidas através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da cultura do milho segunda safra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado em lavoura comercial no município de Coromandel - MG sob coordenadas -18.60685, -47.111395 (WGS84). Foram avaliados sete talhões e denominados de A (25 ha), B (38,4 ha), C (22,3 ha), D (8,4 ha), E (15,1 ha), F (40,2 ha) e G (9,2 ha) (Figura 1). O clima da região é classificado como Cwa, segundo classificação Koppen-Geiger (1928), com uma altitude média de 1.000m e solo tipo Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018).

Figura 1 - Mapa de localização dos talhões de estudo de caso no município de Coromandel - MG.



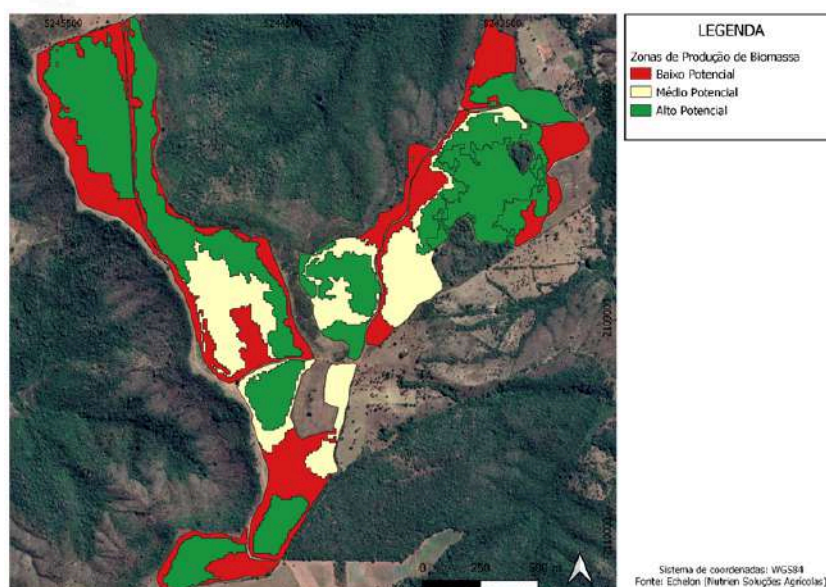
As zonas de manejo (ZM) foram determinadas utilizando a ferramenta de gestão de zonas do software Echelon, sendo o tamanho de cada ZM determinado para que tivessem entre 5 e 15 ha e quando a área fosse menor que 10 ha determinada 2 ZM. O intervalo médio do NDVI de cada ZM foi determinado por distribuição automática pelo próprio software. Na Figura 2, são apresentados os mapas com as zonas de investigação indicadas para cada talhão (A, B, C, D, E, F e G), sendo essas regiões classificadas como baixo potencial de produção de biomassa (BPPB), médio potencial de produção de biomassa (MPPB) e de alto potencial de produção de biomassa (APPB).

O NDVI médio foi determinado utilizando imagens do satélite Sentinel-2, utilizando as bandas B4 e B8 do satélite, sendo as imagens NDVI processadas automaticamente pela plataforma Echelon, da empresa Nutrien Soluções Agrícolas. Foram selecionadas imagens no período de maturação fisiológica do milho segunda safra dos anos de 2018, 2019, 2020 e 2022.

Para cada ZM foram coletadas 15 subamostras na profundidade de 0 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm, sendo estas determinadas previamente e encaminhadas para uma empresa terceirizada que realizou a coleta do solo utilizando uma broca de aço inox 1" com comprimento de 0 - 25 cm semiautomatizada. As análises foram encaminhadas para um laboratório comercial e determinado na profundidade de 0 - 10 e 10 - 20 cm os atributos P (extrator Melich-1), K, Ca, Mg, S, Base, Al, H+Al, M.O., C.O., B, Cu, Fe, Mn, Zn, SB, CTC T, V%, m% e textura do solo. Na profundidade de 20 - 40 cm foi determinado P (extrator Melich-1), K, Ca, Mg, S, Base, Al, H+Al, B, SB, CTC T, V% e m%.

Na safra 2022/2023 foi realizada a semeadura da soja no dia 05/11/2022 e a colheita no dia 27/03/2023 sendo nos talhões A, B, C e D posicionada a cultivar NEO790 IPRO (NEO790), nos talhões E e F a cultivar Brasmax OLIMPO IPRO (OLIMPO) e na área G a cultivar Brasmax EXTREMA IPRO (EXTREMA) na população utilizada de 180.000 plantas ha⁻¹ para as três cultivares. A adubação realizada foi de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em semeadura e 100 kg ha⁻¹ de K₂O parte em semeadura e parte em cobertura.

Figura 2 - Mapa de classificação de zonas de potencial de produção de biomassa dos talhões A, B, C, D, E, F e G (conforme apresentado na Figura 1).



No dia 14/03/2023, quando a cultura estava em seu estágio fenológico de R6 (Grão cheio), foi realizada a coleta de plantas para avaliação de atributos morfológicos e estimativa de produtividade. Para a coleta das plantas utilizou-se os mesmos pontos georreferenciados de subamostras da amostragem de solo, sendo escolhido três pontos de coleta para formação da amostra composta, no local georreferenciado do ponto foi realizado a medição de um metro linear e retiradas a segunda planta, a planta central e a penúltima planta dentro do metro linear.

As amostras de plantas foram encaminhadas para o Laboratório de Genética de Biotecnologia do UNIPAM onde avaliou-se a altura de plantas medindo da base da planta até a inserção do último nó reprodutivo), diâmetro de colmo (medindo abaixo do hipocótilo da planta e tendo como referência o maior valor encontrado), número de vagens de um grão, dois grãos, três grãos e quatro grãos.

Para estimativa da produtividade foi realizada a contagem do número total de vagens e o número total de grãos, foi considerado o peso de mil sementes (PMS), informado pela obtentora da cultivar plantada, foi considerado também uma estimativa de perda na colheita de 15% e utilizada a seguinte fórmula para encontrar o resultado de produtividade estimada em sacas ha⁻¹: $((\text{Mil plantas ha}^{-1} * \text{Número de grãos planta}^{-1} * \text{PMS}) / 60.000 \text{ g}) - 15\%$.

A análise estatística foi realizada com uma análise exploratória dos dados para avaliação da média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados de solo na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, para os dados de NDVI médio e produtividade estimada da área total e para cada cultivar. A variabilidade da área foi determinada de acordo com o Coeficiente de Variação (CV - %), classificado como baixa variabilidade quando o CV (%) entre 0 e 10%, média variabilidade quando o CV% entre 10 e 20%, alta variabilidade quando o CV% entre 20 e 30% e variabilidade muito alta quando > que 30%.

Os mapas temáticos de classificação dos atributos do solo foram confeccionados seguindo a classificação de Alvarez et. al. (1999) para o estado de Minas Gerais e para o mapa de produtividade relativa foi utilizado o método proposto por Molin (2002), sendo classificada como baixa produtividade regiões com produtividades inferiores a 95% da média de produtividade da lavoura, média produtividade regiões entre 95% e 105% da produtividade média da lavoura e alta produtividade regiões acima de 105% da média da produtividade, utilizando o software QGIS versão 3.22.16, LTR.

3. RESULTADOS

Com base na análise de solo, o pH do solo foi classificado como baixo na camada de 0 - 10 cm, 10 - 20 cm e de 20 - 40 cm, estando fora da faixa adequada para produção de grãos em todo o perfil do solo. Nessa faixa de pH há uma menor disponibilidade dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e B e uma maior disponibilidade dos teores de Al e uma maior disponibilidade de micronutrientes metálicos (Figuras 3, 4 e 5).

Figura 3 - Mapa de classificação da fertilidade química e física do solo para a camada de 0 - 10 cm.

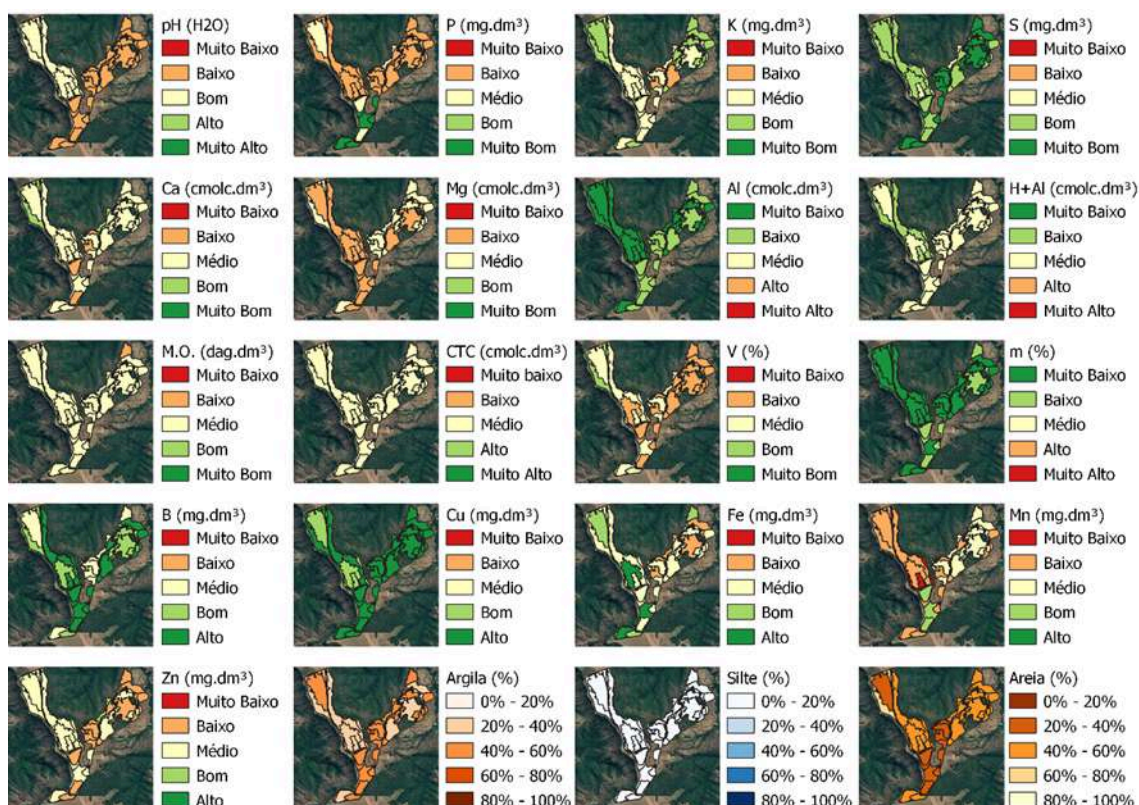


Figura 4 - Mapa de classificação da fertilidade química e física do solo para a camada de 10 - 20 cm.

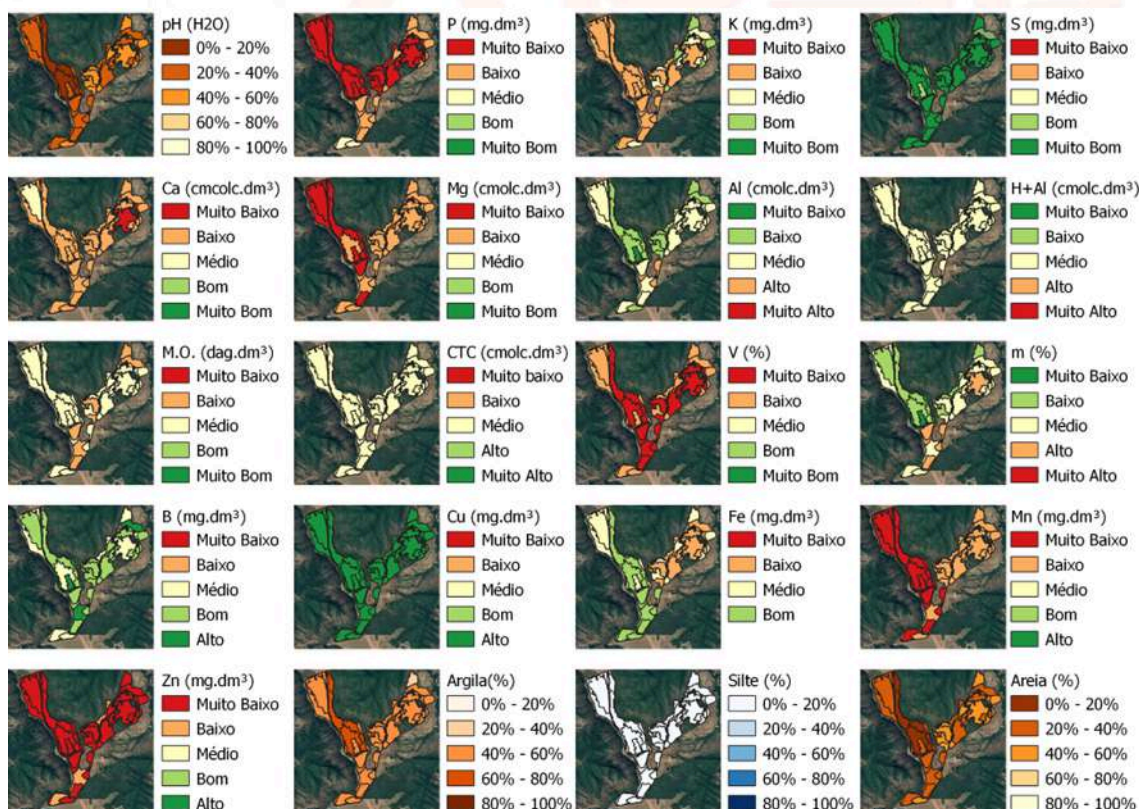
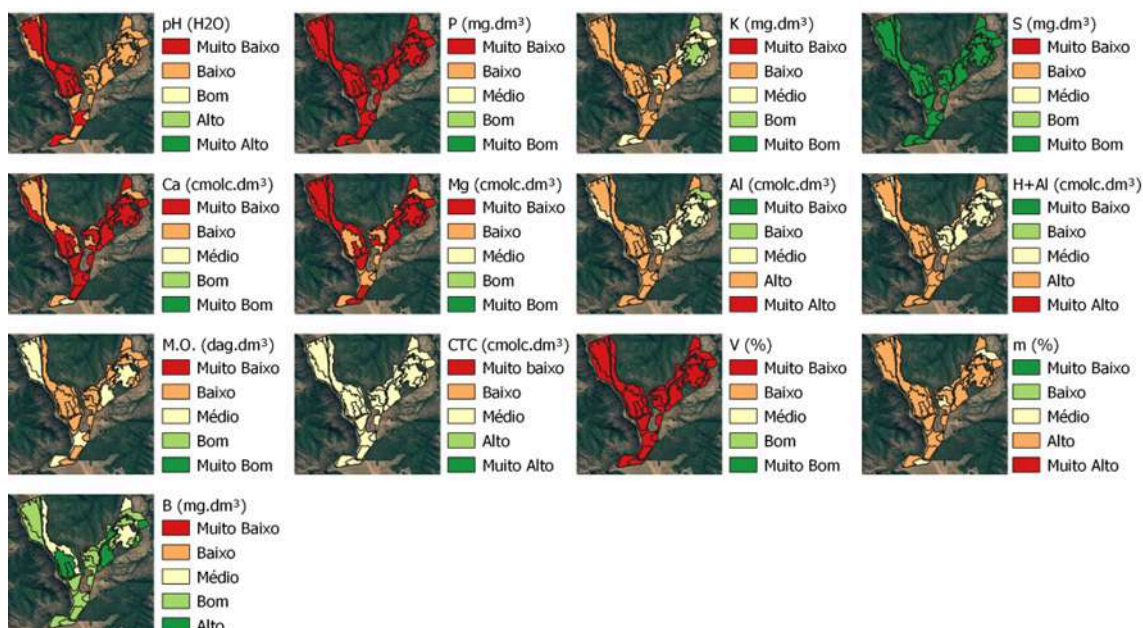


Figura 5 - Mapa de classificação da fertilidade química e física do solo para a camada de 20 - 40 cm.



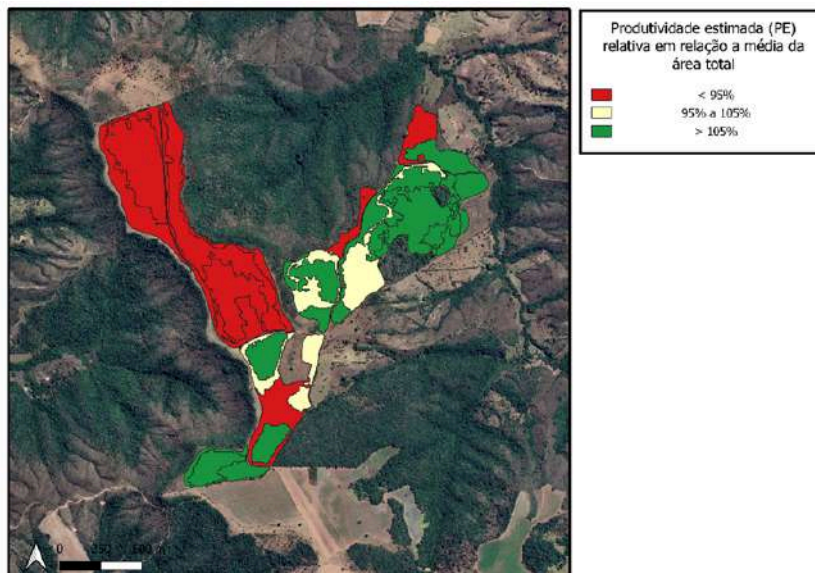
A cultivar OLIMPO teve seus valores de NDVI crescente à medida que se aumentou o potencial de produção de biomassa das ZM, teve os maiores valores na ZM de Médio Potencial de Produção de Biomassa (MPPB), seguida pela ZM de Alto Potencial de Produção de Biomassa (APPB) e depois pela ZM de Baixo Potencial de Produção de Biomassa (BPPB), para Diâmetro de Colmo (DC) teve os maiores valores na ZM de BPPB, seguida pela ZM de APPB e por fim a ZM de MPPB. Para os atributos de produtividade houve um valor crescente de Número de vagens (NV) à medida que se aumentou o potencial de produção de biomassa das ZM, para Número de grãos (NG) o menor valor ocorreu na ZM de MPPB, aumentando o valor na ZM de BPPB e com o maior valor na ZM de APPB e para a Produtividade Estimada (PE), foi maior na ZM de APPB, alcançando 99,12 scs ha⁻¹, seguida com PE similares da ZM de BPPB com 84,49 scs ha⁻¹ e da ZM de MPPB com 84,11 scs ha⁻¹.

Comparando os valores de NDVI com os atributos da cultivar OLIMPO, nota-se que houve relação entre os valores de NDVI na ZM de APPB para NV, NG e PE e na ZM de BPPB para AP e NV. A cultivar EXTREMA teve seus valores de NDVI médio (NDVI_m), Altura de Plantas (AP), DC, NV, NG e PE à medida que se aumentou o potencial de produção de biomassa das ZM tendo uma relação entre todos os atributos com o NDVI_m.

Na Figura 6, é apresentado o mapa de PE relativa em relação à média da área total, a cultivar NEO790 teve baixas PE em todas as ZM das áreas A e B, e na ZM de BPPB da área C, média PE na ZM de MPPB na área C e altas PE na ZM de APPB da área C e nas duas ZM da área D, portanto a única área que a PE teve comportamento semelhante com a classificação do potencial de produção de biomassa das ZM foi na área C. A cultivar OLIMPO teve baixa PE somente na ZM de BPPB da área E, média PE na ZM de MPPB da área E e F e alta PE nas ZM de APPB da área E e F e na ZM de BPPB da área F, a PE dessa cultivar teve comportamento muito semelhante a classificação das ZM pelo potencial de produção de biomassa, diferindo

somente na ZM de BPPB que teve sua PE classificada com alta. A cultivar EXTREMA teve baixa PE na ZM de BPPB e alta PE na ZM de APPB, sendo o comportamento das ZM ao da PE.

Figura 6 - Mapa de produtividade estimada relativa em relação à média da área total (conforme figura1).



Menezes (2022), avaliando atributos de solo na camada de 0-20 cm e a definição de zonas de manejo a partir de diferentes dados no município de Indianópolis-MG com clima da região tipo Aw em um Latossolo Vermelho constatou que zonas de manejo geradas a partir de índices de vegetação, altitude e produtividade que possuíam baixo potencial possuíam maiores teores de P e CTC em relação à zona de alto potencial e não havendo diferença estatística entre pH (H₂O), K, Ca, Mg e V%, também constatou correlação entre o índice NDRE da soja e a produtividade da mesma. Esses dados corroboram os atributos de P e CTC avaliados nesse estudo, que tiveram maiores valores nas ZM de BPPB e com os dados de NDVI na média de todas as áreas e da cultivar EXTREMA para PE, que tiveram seus valores crescentes à medida que se aumentou o potencial de produção de biomassa, porém não há relação com os outros atributos avaliados pelo autor.

O resultado encontrado pelo autor condiz com os dados de MO e de Areia encontrados neste trabalho, onde as ZM de APPB tiveram maiores valores de MO e as ZM de BPPB tiveram maiores valores de areia, no entanto não é condizente com os dados de CTC, que neste trabalho tiveram maiores valores nas ZM de BPPB. O autor também constatou similaridade entre os mapas de NDVI e produtividade, corroborando o resultado encontrado neste estudo para NDVI na média de todas as áreas e das cultivares, que tiveram seus valores crescentes à medida que se aumentou o potencial de produção de biomassa. Comparando o resultado encontrado pelo autor na classificação da produtividade da soja em alto e baixo potencial, nota-se maiores produtividades da cultura na zona de maior potencial e menores produtividades na zona de menor potencial, comportamento semelhante é observado nesse estudo para as áreas C, E e G.

Damian (2017), avaliando ferramentas da agricultura de precisão para a caracterização de zonas de manejo no município de Júlio de Castilhos (RS), em um Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínio úmbrico com clima da região tipo Cfa com área cultivada sob sistema plantio direto não constatou correlação entre as zonas de manejo geradas a partir dos dados de NDVI e os atributos químicos do solo. Quanto aos dados de rendimento o autor constatou uma correlação baixa a

média do NDVI relativo a cada cultivo e com o NDVI de diferentes cultivos, representando coincidência para os dados de PE das áreas A, B, D e F observadas neste trabalho, porém não há similaridade para as áreas C, E e G.

4. CONCLUSÃO

Na avaliação da área total houve relação para o potencial de produção de biomassa das ZM para altura de plantas, diâmetro de colmo, número de vagens, número de grãos e produtividade estimada.

A Produtividade estimada da soja teve relação positiva com o potencial de produção de biomassa das ZM das áreas C, E e G e não houve relação para as áreas A, B, D e F.

O uso de zonas de manejo por imagens de satélite NDVI obtidas durante a safra permitiu a avaliação da variabilidade da fertilidade química e física de um solo e das características morfológicas e da produtividade da soja.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a equipe de Agronomia Digital da Nutrien Soluções Agrícolas pelo fornecimento dos dados, software e ferramentas para desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a equipe do Laboratório de Genética e Biotecnologia do UNIPAM pelo suporte durante as avaliações de campo.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. H. et al. **Interpretação dos resultados de análise de solo**. Em: Ribeiro, A. C. Recomendação para uso de fertilizantes e corretivos em Minas Gerais: 5ª aproximação. 1999. CFSEMG. Viçosa. p. 25-33.
- ANDA. **Pesquisa Setorial**. Disponível em: <http://anda.org.br/pesquisa_setorial>. Acesso em: 04 set. 2022.
- DAMIAN, J. M. **Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para definição de zonas de manejo e monitoramento da variabilidade da sucessão aveia preta/soja**. 2017. Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.
- EMBRAPA. 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. EMBRAPA, Brasília, Distrito Federal, Brasil. 355 p.
- Köppen, W., & Geiger, R. 1928. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes.
- MENEZES, G.P.G. **Índice de vegetação, altitude e produtividade de grãos na definição de zonas de manejo**. 2022. Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
- Molin, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22. p.83-92. 2022.

MELHORANDO O RENDIMENTO DAS CULTURAS POR AMBIENTE DE PRODUÇÃO

IMPROVING CROPS YIELD BY PRODUCTION ENVIRONMENT

Mateus Junior Rodrigues Sangiovo¹; Claudir José Basso²; Telmo Jorge Carneiro Amado³; Daniele Fontana⁴; Antônio Luis Santi⁵

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Rua 07 de setembro s/n, 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, mateus.sangiovo03@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria, Rua 07 de setembro s/n, 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, claudirbasso@gmail.com

³ Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima Camobi, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, proftelmoamado@gmail.com

⁴ Agrobiológica Sustentabilidade, Rua Domingos de Felice, 88, Jardim Santo André, 13484-126, Limeira – SP, Brasil, danielle.fontana@agrobiologica.com.br

⁵ Universidade Federal de Santa Maria, Rua 07 de setembro s/n, 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, antonio.santi@ufsm.br

RESUMO

Entender a variabilidade de produção existente nas áreas agrícolas é uma grande oportunidade para garantir a segurança alimentar e melhorar a eficiência produtiva. Este estudo investigou diferentes ambientes de produção, através do diagnóstico dos atributos químicos, físicos e atividade enzimática do solo, além de utilizar estratégias para melhorar a produtividade nestes ambientes. Foram demarcadas parcelas principais através da produção de matéria seca das plantas de cobertura como ambientes de alta produtividade e baixa produtividade. Nas sub parcelas foram estabelecidos os tratamentos (vegetal), (vegetal + biológico) e (vegetal + mineral + biológico). Os ambientes de baixa produtividade foram associados a menor produção de matéria seca das plantas de cobertura em até (46,2%), maior resistência a penetração do solo na profundidade de (40-60 cm), menores teores de matéria orgânica do solo em superfície e profundidade, aliado a menor atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase. Foi possível restaurar a produtividade de grãos no ambiente de baixa no primeiro cultivo e houve um sinergismo positivo como efeito residual para os dois ambientes na cultura subsequente.

Palavras-chave: Ambientes de produção. Diagnóstico do solo. Matéria orgânica.

ABSTRACT

Understanding the production variability that exists in agricultural areas is a great opportunity to guarantee food security and improve production efficiency. This study investigated different production environments, through diagnosis of the chemical, physical attributes and enzymatic activity of the soil, in addition to using strategies to improve productivity in these environments. Main plots were demarcated through the dry matter production of cover crops as high productivity and low productivity environments. In the subplots, treatments (vegetable), (vegetable + biological) and (vegetable + mineral + biological) were established. Low productivity environments were associated with lower dry matter production of cover crops by up to (46.2%), greater resistance to soil penetration at a depth of (40-60 cm), lower levels of soil organic matter in surface and depth, combined with lower activity of the enzymes β -glucosidase and arylsulfatase. It was possible to restore grain productivity in the low environment in the first crop and there was a positive synergism as a residual effect for both environments in the subsequent crop.

Keywords: Production environments. Soil diagnosis. Organic matter.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por alimentos apresenta uma tendência linear a nível mundial, aliado à alta qualidade. A previsão de crescimento populacional global até 2050 está projetada para até 10 mil milhões de pessoas (Desa, 2015). O Brasil de modo geral é considerado o celeiro para produção de alimentos atualmente e para os próximos anos, principalmente pelas condições de clima tropical e subtropical que predomina nas diferentes regiões agrícolas do país. Aliado a isso, existe um grande desafio que é a capacidade de garantir alta produção de grãos e fibras diante safras com alterações climáticas que estão ocorrendo ao redor do mundo (Foyer et al. 2016; Gupta et al. 2020) como, prolongados períodos de estiagem durante o ciclo das culturas, altas temperaturas e ao mesmo tempo altos volumes de precipitação num curto período de tempo, colocando em risco a qualidade dos solos brasileiros, principalmente pela ocorrência de erosões, redução da matéria orgânica e nutrientes do solo.

Diante destas informações alarmistas, é fundamental pensarmos na qualidade e longevidade dos sistemas de produção, sendo que, o ponto chave é o manejo do solo. Neste sentido, é necessário pensarmos na construção do ambiente de produção, que pode proporcionar aumentos de produtividade e estabilidade no decorrer das safras. Assim, observa-se que para identificação destes ambientes de produção é necessário a realização criteriosa de diagnóstico preciso e de qualidade sobre os aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, com um olhar sistêmico sobre o sistema. Alguns estudos têm demonstrado que ambientes de produção de alta produtividade, se correlacionam diretamente com estoque de água no solo, matéria orgânica, diversidade biológica e crescimento radicular profundo das plantas, que em linhas gerais pode representar a saúde do solo (Mendes et al. 2020; Müller et al. 2021; Passinato et al. 2021).

Esta maior resiliência é proveniente de ambientes de produção, que são construídos por modelos de sistemas de produção no decorrer das safras, sendo fundamental como eixo norteador o sistema plantio direto de qualidade, com altos volume de biomassa, raízes ativas o maior tempo possível no sistema, biodiversidade vegetal e menor distúrbio físico na superfície do solo. Estes princípios possibilitam um sinergismo entre solo-planta-atmosfera, trazendo fluxo constante de energia ao sistema, principalmente pela ciclagem de macronutrientes orgânicos, carbono, hidrogênio e oxigênio provenientes da fotossíntese (ciclos gasosos) (Primavesi, 2002). Além disso, a construção do ambiente de produção visa principalmente a redução do estresse vegetal durante seu ciclo, sendo fundamental para a máxima eficiência de fotossíntese pelas plantas, proveniente da maximização do funcionamento estomático (abertura de estômatos), assimilação de gás carbono CO₂ e taxa fotossintética pelas plantas (Zhang et al. 2016).

Neste estudo, buscou avançar no entendimento sobre diferentes ambientes de produção possíveis dentro de uma mesma área, partindo de um diagnóstico inicial através das plantas de cobertura, análises de solo estratificadas em profundidade, caracterizando os aspectos químicos e físicos do solo, além da atividade das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase destes ambientes. O objetivo principal deste estudo foi quantificar a produtividade final de grãos da cultura do milho verão e soja safrinha com possível efeito imediato e residual diante a realização de ajustes em cada ambiente de produção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Local de estudo, condições ambientais e desenho experimental

A pesquisa iniciou durante o final da estação de inverno, ano agrícola de 2022 em área de produtor rural no município de Frederico Westphalen, localizada no noroeste do Rio Grande do Sul

(27° 23' 51" S e 53° 35' 19" W, 490 metros de altitude), com precipitação média anual de 1.881 mm, temperatura média de 19,1°C e clima subtropical úmido (Alvares et al., 2013), em área conduzida sob plantio direto.

O sistema de produção estabelecido durante a pesquisa foi, plantas de cobertura de outono/ inverno (aveia preta + nabo forrageiro), milho verão (AG 1666) e soja safrinha. Quanto ao manejo fitossanitário, adubação de base e cobertura, esta foi a mesma utilizada em toda área, manejo padrão do produtor.

Em cada ambiente de produção foram demarcadas 3 réplicas (parcelas principais) aleatórias dentro do mesmo talhão, contendo as seguintes dimensões (10 x 30 m) e subparcelas contendo dimensões de (10 x 10 m) para cada tratamento considerado como ajuste.

Produção de biomassa das plantas de cobertura

A produção de matéria seca das plantas de cobertura foi estimada numa área útil de 0,250 m² (três repetições/ réplica), as amostras foram mantidas em estufa de ar forçado em temperatura a 60°C até a estabilização do peso das amostras.

Análise química do solo

Quanto aos atributos químicos do solo, foram coletadas amostras estratificadas nas seguintes camadas (0 - 10, 10 - 20, 20 - 40, 40 - 60 e 60 - 80 cm), totalizando cinco amostras por réplica experimental. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais da Universidade Regional Integrada de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, para determinação do teor de matéria orgânica do solo (MOS %), pH do solo em água (1:1), Argila, fósforo (P mg dm⁻³), potássio (K⁺ mg dm⁻³), cálcio (Ca⁺² cmolc dm⁻³), magnésio (Mg⁺² cmolc dm⁻³), enxofre (S mg dm⁻³), alumínio (Al⁺³ cmol dm⁻³) e saturação de bases da CTC (BS) seguindo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Análise física do solo

A resistência à penetração do solo (RP) foi realizada próxima à capacidade de campo, utilizando um penetrômetro digital (PenetroLOG, Falker®, modelo PLG1020). As leituras foram realizadas após o manejo de rolagem das plantas de cobertura (três repetições/ réplica) a cada centímetro até 60 cm de profundidade, através de célula de carga e inserção da haste na velocidade de 0,018 m s⁻¹. Foi utilizado um cone tipo 2 (diâmetro 12,83 mm) com ângulo de 30° (Asabe, 2009).

Atividade enzimática do solo

Quanto à análise enzimática do solo foram coletadas três amostras de solo para cada réplica na camada 0 - 10 cm, formando uma amostra composta por ambiente de produção. As enzimas β-glicosidase e arilsulfatase foram analisadas conforme metodologia proposta por (Tabatabai, 1994).

Ajuste vegetal, mineral e biológico do solo pré-cultura do milho

Os ajustes foram estabelecidos nos dois ambientes de produção, seguindo os seguintes tratamentos: T1 (vegetal), T2 (vegetal + mineral+ biológico) e T3 (vegetal + biológico). Para o ajuste vegetal manteve-se as plantas de cobertura que antecederam a cultura do milho, com suas respectivas produções de biomassa. Quanto ao ajuste mineral, utilizou-se 3,5 toneladas ha⁻¹ de

cama de aviário contendo as seguintes condições químicas N (3,24%), P_2O_5 (3,62%), K_2O (3,65%), Ca (9,19%) e Mg (3,48%). Já no ajuste biológico foram aplicados logo após a semeadura do milho via pulverização aérea os ativos biológicos, *Azospirillum* ($4L\ ha^{-1}$), *Trichoderma* ($2L\ ha^{-1}$) e *Flex roots* ($1L\ ha^{-1}$), num volume de calda de $80\ L\ ha^{-1}$. Na cultura da soja safrinha após a cultura do milho, estes ajustes somaram como possível efeito residual.

Produtividade das culturas

A produtividade do milho foi estimada sobre uma área útil de $1,8\ m^2$ e $0,9\ m^2$ para a cultura da soja safrinha, em cada tratamento referente às subparcelas de cada réplica principal, sendo a umidade dos grãos corrigida para 13%.

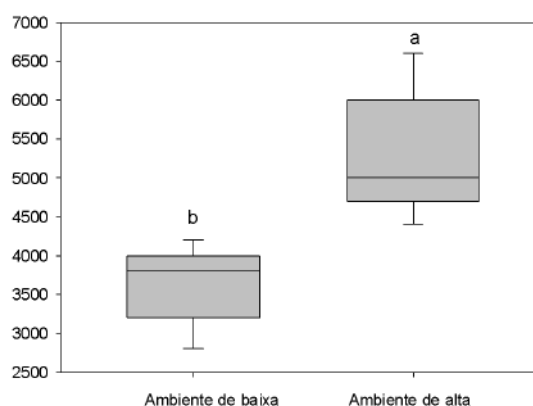
Análise estatística

Os dados de produção de matéria seca das plantas de cobertura, resistência a penetração do solo (RP), produtividade final de grãos da cultura do milho e soja safrinha foram submetidos à análise de variância (anova), comparadas pelo teste Tukey ($p < 0.05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo programa estatístico Sisvar, versão 5.3 (Ferreira 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca das plantas de cobertura diferiu estatisticamente entre os ambientes de produção (Figura 1), o ambiente de baixa teve uma produção média de $3600\ kg\ ha^{-1}$ e $5266\ kg\ ha^{-1}$ no ambiente de alta produtividade, chegando a representar um incremento de até 46,2% sobre a produção de matéria seca no sistema.

Figura 1 – Produção de matéria seca das plantas de cobertura em dois ambientes de produção, Frederico Westphalen – RS.

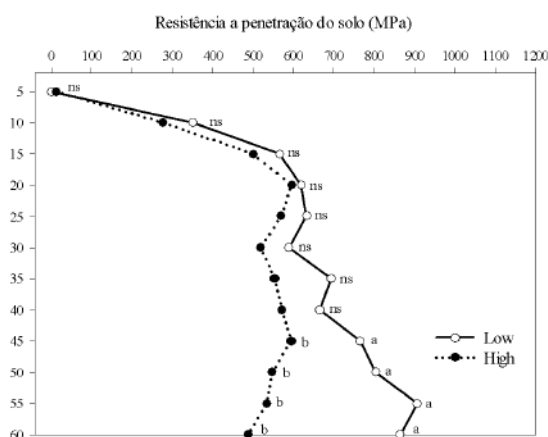


Fonte: O autor (2022).

Esta informação referente a produção de matéria seca das plantas de cobertura nos ajuda a entender o que está ocorrendo no sistema de produção e principalmente porque há tanta variabilidade de ambientes de produção no mesmo talhão. Maiores volumes de biomassa refletem em maior ciclagem de nutrientes nestes locais (Santi et al., 2016), maior produção de raízes, adição de carbono, exsudatos radiculares e inclusive maior percentual de oxigênio no solo.

Para a condição física, resistência a penetração do solo (RP) (Figura 2), nota-se que para ambos os ambientes de produção os valores de RP se mantêm adequados para o bom desenvolvimento das raízes das culturas ($<1,5$ MPa), conforme trabalhos realizados em diferentes regiões do Brasil envolvendo zonas de manejo e ambientes de produção (Dantas, 2018; Passinato et al., 2021)

Figura 2 – Resistência à penetração do solo em dois ambientes de produção, Frederico Westphalen – RS.



High (Ambiente alta), Low (Ambiente baixa).

Fonte: O autor (2022).

Se analisarmos nas diferentes profundidades, observa-se que houve diferença significativa entre os ambientes, com maiores valores de RP no ambiente de baixa na camada de 40 á 60 cm, que na média este valor foi superior em até 46,6% nesta profundidade, no comparativo ao ambiente de alta. Este diagnóstico em profundidade é necessário e nos permite saber se existe e qual a melhor estratégia para melhorar o ambiente de produção, neste caso se observou uma tendência de limitação física de solo em camadas mais profundas no ambiente de baixa, sendo a principal estratégia aumentar a quantidade de raízes nestas camadas, através de estímulos (Pott et al., 2020).

Quanto aos atributos químicos do solo (Tabela 1), de modo geral o fósforo (P) apresentou valores inadequados ($P \leq 6,0$) em todas as profundidade independente do ambiente de produção (CQFS, 2016), sendo um dos macronutrientes responsável como fonte de energia e apresenta um papel importante na promoção e crescimento radicular das plantas durante os estádios iniciais (Dantas, 2018; Müller et al. 2021). O potássio (K), que tem importante função sobre a ativação enzimática, apresentou níveis adequados ($K \geq 91,0$) no ambiente baixa até a profundidade (10-20 cm) e (20-40 cm) no ambiente de alta (CQFS, 2016).

Já os macronutrientes cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), estes estão em níveis adequados em todo perfil nas diferentes profundidades e ambientes de produção, Ca ($\geq 4,0$), Mg ($\geq 1,0$) e S ($\geq 5,0$) (CQFS, 2016). É importante observarmos que o ambiente de baixa apresenta concentrações mais elevadas destes nutrientes 27,9% (Ca), 43,2% (Mg) e 33,4% (S) em comparação ao ambiente de alta na média geral das profundidades (CQFS, 2016). Estas menores concentrações podem ser explicadas pela maior exportação de nutrientes que ocorre nestes locais de maior produtividade ao longo das safras, levando em consideração que esta área não utiliza

até o momento agricultura de precisão, que é um grande aliado para uniformizar e diminuir estas diferenças ao médio longo prazo do talhão.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo, Argila, matéria orgânica do solo (MOS), pH em água, fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), enxofre (S), alumínio (Al^{+3}) e saturação de bases da CTC (BS), em dois ambientes de produção, Frederico Westphalen -RS.

Profundidade e cm	Argila (%)	MOS	pH	P	K (mg dm ³)	S	Mg	Ca (cmol _c dm ³)	Al	BS (%)
Ambiente de baixa										
0 – 10	79	2,8	5,4	3,7	229,5	39,9	3,2	8,0	0,0	63,1
10 – 20	69	1,7	5,1	1,0	103,2	46,3	2,0	6,2	0,2	55,1
20 – 40	79	1,3	5,3	1,0	51,0	50,6	1,6	5,7	0,1	57,5
40 – 60	79	1,2	5,4	1,0	44,5	57,5	2,1	6,7	0,0	67,0
60 – 80	79	1,0	5,5	1,0	37,5	41,5	2,7	6,8	0,0	71,1
Ambiente de alta										
0 – 10	59	3,6	5,2	1,4	270,5	23,9	2,6	6,2	0,1	57,9
10 – 20	79	2,4	5,0	1,0	190,0	32,2	1,6	4,6	0,3	49,2
20 – 40	79	1,9	5,1	1,0	111,0	38,0	1,4	5,2	0,2	52,6
40 – 60	79	1,4	5,2	1,0	54,5	38,6	1,1	4,9	0,3	49,8
60 – 80	79	1,3	5,2	1,0	40,0	44,0	1,4	5,2	0,3	57,8

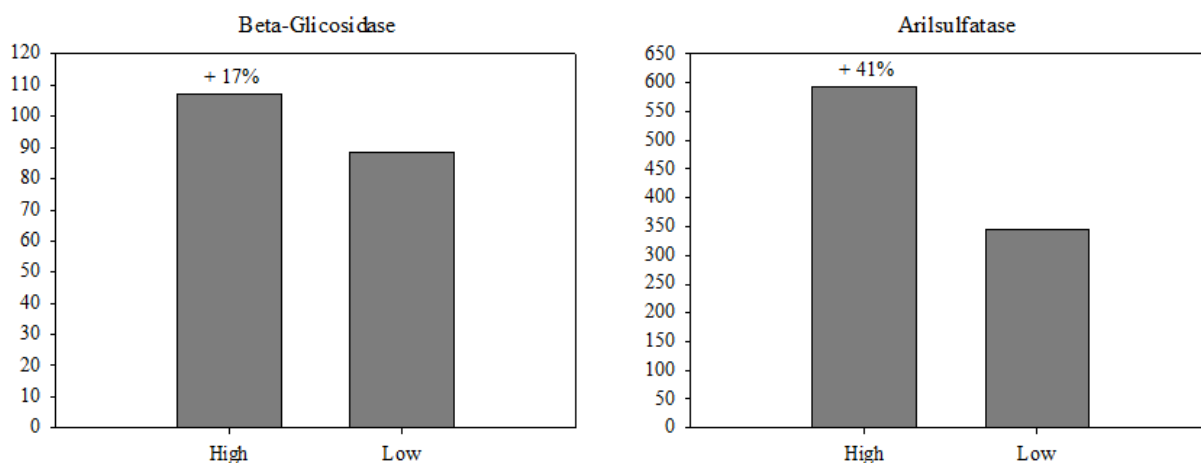
Fonte: O autor (2022).

Para alumínio (Al) e saturação de bases (BS), destaca-se principalmente que nas profundidades de (40-60 cm) e (60-80 cm) que no ambiente de alta foram identificados valores mais críticos, sendo para o Al (0,3%) maior e BS (28,2%) menor em comparação ao ambiente de baixa (CQFS, 2016). Este resultado pode ser associado ao pH do solo, que foi 3,8% e teor de Ca 33,6% inferior no ambiente de alta, nestas profundidades. Em relação a maior presença de Al^{+3} no solo, este é dependente principalmente do manejo e disponibilidade de pH, Ca e BS no solo e que em alguns casos pode afetar a produtividade em função da maior restrição ao crescimento radicular das plantas, menor absorção de nutrientes, maior gasto energético para desempenhar suas funções fisiológicas como, atividade fotossintética, ativação de enzimas, fixação de CO_2 e fotoassimilados (Bossolani et al., 2021).

Quanto a matéria orgânica do solo (MOS) esta apresentou valores inadequados para a região ($MOS \geq 6,0$) na profundidade de 0-10 cm (CQFS, 2016). Sendo extremamente importante sinalizar a diferença existente entre os ambientes na distribuição vertical da MOS ao longo do perfil, sendo na média para as profundidades até 32,5% superior no ambiente de alta. Sabe-se da interação da MOS com as características químicas, físicas e biológicas do solo, está é capaz de bloquear a toxidez do Al^{+3} , rege o equilíbrio de micro e macroporos para armazenamento e disponibilidade de água às plantas, é fonte de energia via carbono e nitrogênio para a biota do solo (Corassa, 2018).

A atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase respondeu quanto aos ambientes de produção (Figura 3), onde estas foram superiores no ambiente de alta em até 17% para β -glicosidase e 41% para arilsulfatase. Estas enzimas têm sido estudadas ao redor do mundo e consideradas como indicadores sensíveis da qualidade do solo, estando estreitamente correlacionada com a MOS do solo, onde confirmou-se neste estudo maior teor de MOS e atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase na superfície do solo (0-10 cm) para o ambiente de alta.

Figura 3 – Atividade enzimática do solo em dois ambientes de produção, Frederico Westphalen – RS.



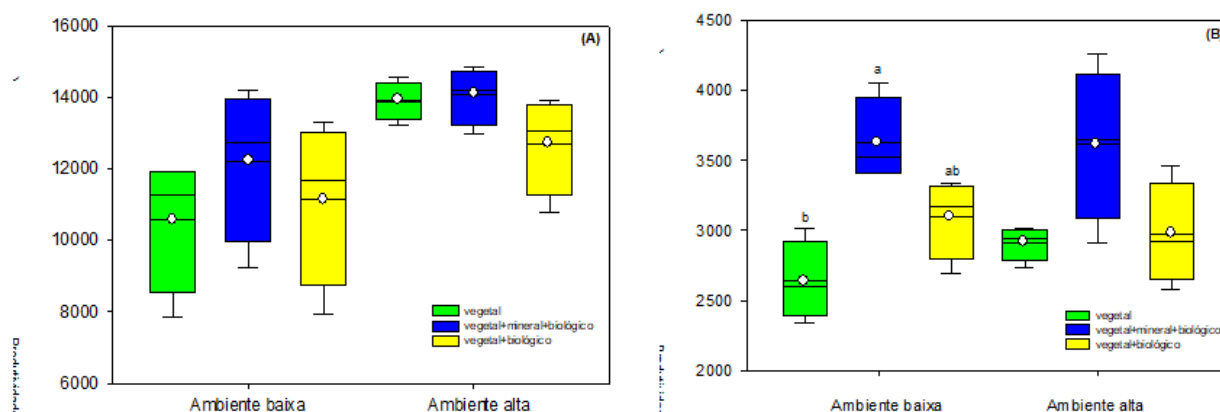
High (Ambiente alta), Low (Ambiente baixa).

Fonte: O autor (2022).

Em estudo de longo prazo (Pires et al., 2020), confirmaram maior atividade para β -glicosidase de até 69% em sistema de plantio direto (conservação) em comparação ao sistema convencional. Isso foi associado principalmente ao aumento da MOS na superfície do solo, através da rotação de culturas, cobertura permanente do solo e introdução de leguminosas no sistema.

Quanto a produtividade final de grãos para a cultura do milho (Figura 4 A), esta não apresentou diferença estatística na interação ambiente e tratamentos, mas é importante destacarmos que para os diferentes tratamentos o ambiente de alta teve uma produção superior média ao ambiente de baixa de até (31,25%) no ajuste vegetal, (15,27%) vegetal + mineral + biológico e (14,05%) vegetal + biológico.

Figura 4 – Rendimento final de grãos para a cultura do milho (Figura A) e soja safrinha (Figura B) em dois ambientes de produção, Frederico Westphalen – RS.



Ajustes: vegetal (plantas de cobertura), mineral (cama de aviário) e biológico (ativos biológicos).

Fonte: O autor (2022/2023).

Isso demonstra que estas estratégias em ambientes de baixa produtividade são oportunidades para diminuir a diferença de “*yield gap*” de rendimento existentes no talhão. Se

observarmos o ambiente de baixa, este teve um aumento de 15,34% sobre a produtividade quando se utilizou a estratégia de plantas de cobertura + cama de aviário e ativos biológicos e de 5,11% para plantas de cobertura + ativos biológicos em comparação ao tratamento apenas com plantas de cobertura (vegetal). Já para a cultura da soja safrinha estabelecida após o milho, teve resposta semelhante no ambiente de baixa (Figura 4 B), com aumentos de produtividade até 39,53% no ajuste vegetal + mineral + biológico e 18,6% vegetal + biológico no comparativo ao ajuste vegetal. No ambiente de alta, houve um aumento expressivo de até 25% na produtividade para o ajuste vegetal + mineral + biológico em comparação ao vegetal. Estes resultados confirmam que houve benefícios tanto para a primeira cultura (milho verão), como efeito residual para a segunda cultura (soja safrinha).

Enfim, estes achados indicam principalmente para ambientes de menor produtividade que é importante a restauração de microrganismos como *Azospirillum*, *Trichoderma* e conjunto de bactérias que vão desempenhar funções no solo e planta como, estímulo ao enraizamento, fixação de N ao solo, solubilização de nutrientes e supressão sobre microrganismos patogênicos, associado a diversidade mineral que neste caso a cama de aviário que também ativa a biota do solo através do aporte de C e N no sistema, o enriquece com outros nutrientes importantes para a planta.

Esta sinalização positiva sobre a produtividade, tanto imediato como efeito residual para a próxima cultura, proposta pelo sinergismo entre plantas de cobertura, ativos biológicos e cama de aviário é fundamental para restaurar a vida no solo, a diversidade de microrganismos, o aumento sobre os teores de C e N no sistema que em linhas gerais constroem a MOS ao longo das safras com qualidade.

4. CONCLUSÃO

Os teores de MOS em superfície e profundidade, atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, resistência à penetração do solo e potencial de produção de matéria seca das plantas de cobertura são fatores de diagnóstico importantes para definição dos ambientes de produção.

A utilização de ativos biológicos, diversidade mineral como cama de aviário e plantas de cobertura foram ajustes importantes principalmente para restaurar a produtividade em ambientes de baixa produção, com efeito residual em ambientes de alta e baixa produtividade.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A., et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift. 2013, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ASABE. 2009. Soil cone penetrometer: ASAE standard S313.3. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Bossolani, J. W., et al. Long-term lime and phosphogypsum amended-soils alleviates the field drought effects on carbon and antioxidative metabolism of maize by improving soil fertility and root growth. *Frontiers in plant science*, 1437. 2021, (12), 650-296. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.650296>.

CQFS (2016). Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de cálculo e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, 376.

De sá dantas, João Paulo. 2018. Perfil de extração de água do solo pela cultura de soja de alta e baixa produtividade de grãos. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". <https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-13032019-143508>.

Desa (2015) Perspectivas da população mundial: a revisão de 2015, principais conclusões e tabelas antecipadas. Documento de Trabalho nº ESA/P/WP.241.

Ferreira, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*. 2014, 38, (2), 109-112. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

Foyer, CH, Lam, HM, Nguyen, HT, Siddique, KHM, Varshney, R., Colmer, TD, et al. (2016). Negligenciar as leguminosas comprometeu a segurança alimentar e nutricional global. *Nat. Plants* 2:16112. doi: 10.1038/nplants.2016.112

Corassa, G. M., Santi, A. L., Silva, V. R. D., Baron, F. A., Reimche, G. B., Fiorese, D., & Flora, D. P. D. (2018). Soil chemical attributes restricting grain yield in Oxisols under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53, 1203-1212.

Gupta A, Rico-Medina A, Caño-Delgado AI (2020) A fisiologia das respostas das plantas à seca. *Ciência* (80-) 368:266–269. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7614>.

Mendes, I. D. C., et al. BIOANÁLISE DE SOLO: A MAIS NOVA ALIADA PARA A SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA. *Informações Agronômicas*. 2020, 8, 1-11. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1128778>.

Müller M, et al. Crescimento da Raiz da Soja em Resposta às Variações Químicas, Físicas e Biológicas do Solo. *Frente. Planta Sci.* 2021, 12, 602-569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.602569>.

Passinato, J. H., et al. Soil Health Check-Up of Conservation Agriculture Farming Systems in Brazil. *Agronomy*. 2021, 11 (12), 24-10. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122410>.

Pires, CAB; Amado, TJC; Reimche, G.; Schwalbert, R.; Sarto, MVM; Nicoloso, RS; Fiorin, JE; Arroz, CW Rotação diversificada de culturas com plantio direto altera a distribuição microbiana com profundidade e aumenta a atividade em um Latossolo Subtropical. *EUR. J. Solo Sci.* 2020, 71, 1173–1187.

Pott, L. P., et al. Mitigation of soil compaction for boosting crop productivity at varying yield environments in southern Brazil. *European Journal of Soil Science*. 2020, 71 (6), 1157-1172. <https://doi.org/10.1111/ejss.12880>.

Primavesi, Ana. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. NBL Editora, 2002.

Santi, A. L.; Basso, C. J.; Silva, D. A. A.; Damian, J.M.; Santos, L. D. A.; Bello, R. A. M. D.; Della Flora, D. P.; Fioresi, D.; Martini, R. T.. 'Taxa Variada de Palha' qual o investimento no sistema plantio direto? Revista Plantio Direto, v. XXV, p. 34-41, 2016.

Tabatabai, M.A., 1994. Soil enzymes. In: Weaver, R.W., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. SSSA Book Ser 5. SSSA, Madison, pp. 778–833.

Tedesco, M. J., et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Ufrgs. 1995, 5, 174.

Van Bruggen, AHC; Semyonov, AM; van Diepeningen, AD; de Vos, JO; Blok, WJ Relação entre saúde do solo, flutuações semelhantes a ondas em populações microbianas e manejo de doenças de plantas transmitidas pelo solo. EUR. J. Planta Pathol. 2006, 115, 105–122.

Zhang, J., Liu, J., Yang, C., Du, S. e Yang, W. (2016). Desempenho fotossintético de plantas de soja frente ao déficit hídrico sob alta e baixa intensidade luminosa. S. África. J. Bot . 105, 279–287. doi: 10.1016/j.sajb.2016.04.011.

MONITORAMENTO DO INÓCULO DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA UTILIZANDO COLETORES DE ESPOROS E MAPAS DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL

Monitoring asian rust inoculum from soybeans using spore collectors and environmental favorability maps

Kauane Rubert¹; Ivan Carlos Maldaner¹; Luciano Zucuni Pes¹; Marcelo Silveira de Farias¹;

Luiz Felipe Silveira Pavão¹; Veronica Fuzer Guariente¹; André Müllich; Leticia Siqueira Posser¹;

¹ Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, Camobi, 97105900, Santa Maria – RS, Brasil, e-mail: kauanerubert64@gmail.com, ivan.maldaner@ufsm.br, lucianopes@politecnico.ufsm.br, marcelo.farias@ufsm.br, felipepavao14@gmail.com, veronicafuzerg@gmail.com, andre.mullich@hotmail.com, leticiaposser@acad.ufsm.br

RESUMO

A soja [*Glycine max* (L.) Merr], é uma das culturas mais importantes e dominantes no contexto agrícola brasileiro. No entanto, possui como principal ameaça a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), uma doença biótica que pode causar até 80% de perdas na produção. O seu controle inclui aplicações elevadas de fungicidas, o que pode ser caracterizado pela carência de informações que auxiliam no momento da tomada de decisão. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo avaliar a relação temporal do aparecimento de esporos no coletor de esporos em relação aos primeiros sintomas/sinais da doença na laboração, sendo correlacionados com mapas de favorabilidade ambiental. O emprego dessas ferramentas permite identificar o momento mais suscetível para o aparecimento de ferrugem asiática, contribuindo positivamente para o seu controle.

Palavras-chave: Ferrugem asiática. Monitoramento. Tomada de decisão.

ABSTRACT

Soybean [*Glycine max* (L.) Merr] is one of the most important and dominant crops in the Brazilian agricultural context. However, its main threat is Asian rust (*Phakopsora pachyrhizi*), a biotic disease that can cause up to 80% of production losses. Its control includes high applications of fungicides, which can be characterized by a lack of information to assist in decision-making. In this sense, this work aims to evaluate the temporal relationship between the appearance of spores in the spore collector in relation to the first symptoms/signs of the disease at work, being correlated with environmental favorability maps. The use of these tools makes it possible to identify the most susceptible moment for the appearance of Asian rust, contributing positively to its control.

Keywords: Asian soybean rust. Monitoring. Decision-making.

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merr], é a principal cultura de grãos do Brasil. Na última safra alcançou resultados históricos de produção, totalizando 154.566,3 mil toneladas, um acréscimo de 23,1 % em relação à safra anterior (CONAB, 2023). O desenvolvimento dessa cultura é acometido por diversas doenças bióticas, entre elas a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), uma doença fúngica que possui como principal dano a desfolha precoce, prejudicando o desenvolvimento da planta e diminuindo significativamente a sua produtividade, em até 80 % no Brasil (CRUZ et al., 2012).

Os sintomas da doença manifestam-se na parte abaxial das folhas e ocorrem inicialmente no terço inferior das plantas, na forma de pequenas pontuações denominadas urédias (GODOY et al., 2020). As urédias são as estruturas reprodutivas do fungo, que ao se romper liberam os uredosporos, responsáveis pela propagação da doença. Para ocorrer o processo de infecção da doença é necessário haver a disponibilidade de água na superfície da folha, com no mínimo seis horas de molhamento e temperaturas entre 15 e 28 °C (GODOY et al., 2020).

O manejo dessa doença é realizado principalmente através da utilização de fungicidas químicos e levando em consideração o triângulo da doença, ou seja, patógeno presente, hospedeiro suscetível e condições ambientais favoráveis (MICHEREFF, S.J, 2001). Nesse viés, existem ferramentas que auxiliam no processo de monitoramento da presença dos esporos no ar, visto que, são disseminados através do vento. Essas ferramentas são o coletor de esporos e mapas de favorabilidade ambiental que auxiliam para analisar se há condições ambientais que facilitem a instalação da doença no campo. Ter o conhecimento de quando ocorreu a chegada e a quantidade de inóculo na região pode auxiliar na decisão do momento correto de aplicação e na escolha assertiva de produtos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na nova área do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada em Santa Maria, na região da depressão central do Rio Grande do Sul.

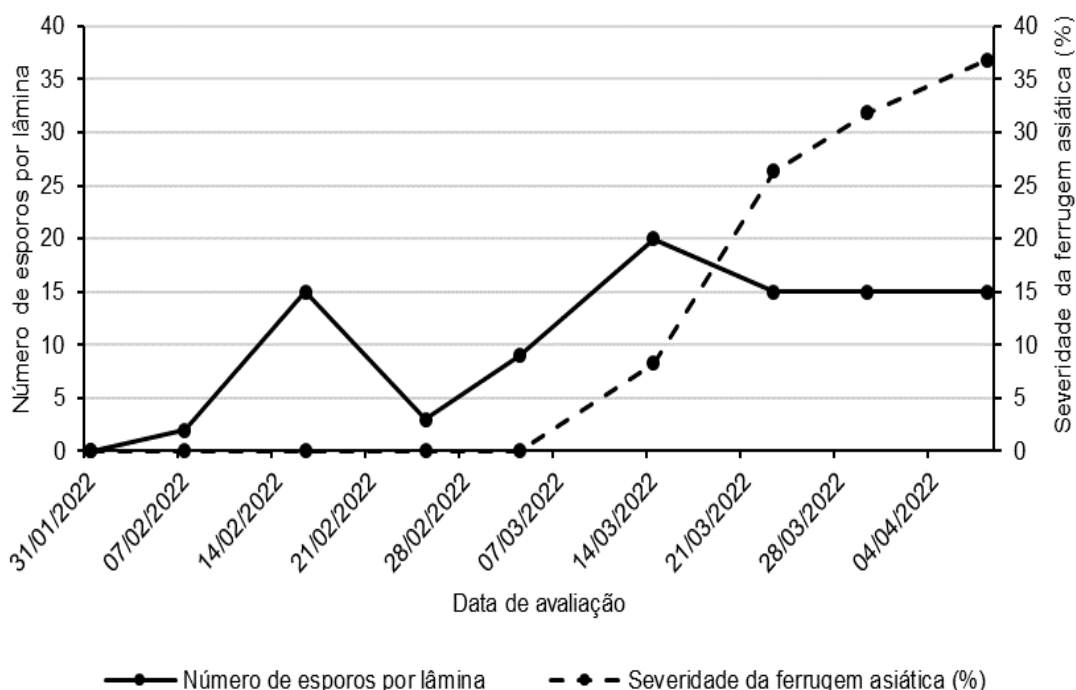
A semeadura da soja foi realizada no dia 11 de novembro de 2021, utilizando a variedade BMX Valente RR 6968 RSF. Foi instalado um coletor de esporos no dia 1 de dezembro de 2021, posicionado a 450 metros da lavoura avaliada para capturar os esporos para realizar a captura dos esporos dispersos no ar. Esse equipamento é constituído por um suporte metálico vertical, um painel solar, uma lâmina que contém uma fita adesiva dupla face e uma estrutura para protegê-las. Em funcionamento, permite que o esporo entre em contato com a fita adesiva de dupla face e fique aderido, permitindo a avaliação e contagem. Após a instalação do coletor de esporos, procedeu-se às substituições semanais das lâminas, sendo que as lâminas que estavam expostas pelo período de uma semana foram conduzidas ao laboratório para uma análise detalhada em microscopia.

A partir do início da fase reprodutiva da cultura da soja, passou-se a coletar aleatoriamente oito folíolos centrais do terço médio das plantas, semanalmente em uma área de 1 hectare, que não havia nenhuma aplicação de fungicida. Os folíolos coletados foram analisados com o uso de uma lupa eletrônica, visando identificar a presença ou não das primeiras urédias no tecido foliar das plantas. A partir da observação dos primeiros indícios da ferrugem asiática, iniciou-se o processo de tabulação da severidade da doença nos folíolos com base na escala diagramática desenvolvida por Godoy et al. (2006). Para subsidiar essa pesquisa, foram utilizados mapas de favorabilidade ambiental para a ocorrência da ferrugem asiática da soja no Rio Grande do Sul (RS), esses que são criados levando em consideração dados de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, sendo inseridos em equações de favorabilidade validadas e calculados diariamente, os quais foram fornecidos pela empresa Smart Agri. Os resultados proporcionam uma visão abrangente, classificando as diferentes regiões em termos de favorabilidade ambiental para ocorrência da doença, indo de classes que variam de muito baixa a muito alta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No dia 07 de fevereiro de 2022, o primeiro esporo de ferrugem asiática foi detectado, enquanto a primeira evidência da doença na área avaliada foi identificada no dia em 14 de março de 2022, equivalente a 35 dias após a visualização do primeiro esporo. A partir da observação do primeiro esporo, pode-se perceber variações semanais no número encontrado, com sua presença persistindo em todas as análises até início de abril (Figura 1), coincidindo com o final do ciclo da cultura. No entanto, a intensidade da doença aumentou gradualmente a cada semana após os primeiros indícios. É notável uma diferença temporal entre a detecção do primeiro esporo e o início da manifestação dos sintomas/sinais da doença na cultura. Esse fato pode ser explicado devido a atuação de fatores como a quantidade e viabilidade do inóculo inicial e as condições meteorológicas durante o período de avaliação (OLIVEIRA et. al., 2020).

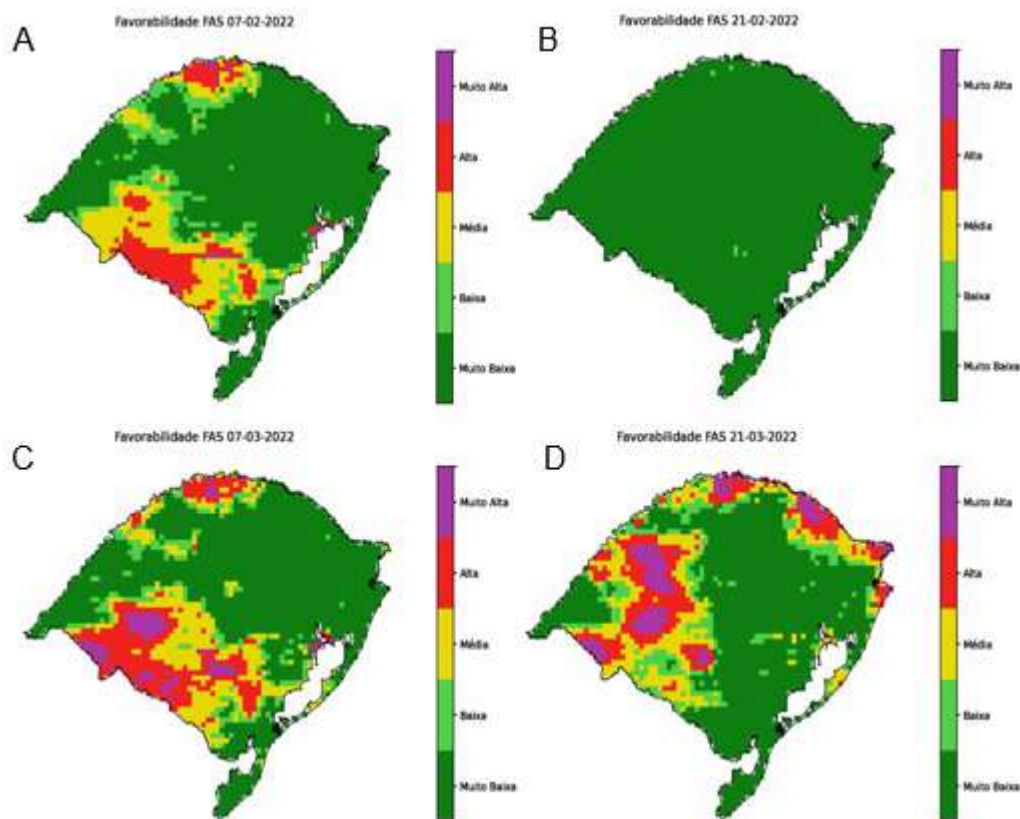
Figura 1. Variação semanal do número de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* a partir da sua primeira identificação e severidade média da ferrugem asiática da soja em 8 folíolos de soja.



Fonte: Autores (2022).

Por um curto período de tempo, entre final de janeiro e início de fevereiro em algumas regiões do RS, a condição ambiental para a ocorrência da ferrugem asiática foi favorável (Figura 2A). Entretanto, a partir da primeira quinzena de fevereiro, a condição esteve desfavorável para a ocorrência da doença em todas as regiões do estado (Figura 2B). No início de março, voltou a ter condições ambientais favoráveis para a instalação da ferrugem asiática em grande parte do estado (Figuras 2C e 2D). De modo geral, a presença de favorabilidade ambiental para a ocorrência de ferrugem asiática variou principalmente em função das condições hídricas presentes ao longo do ciclo da cultura.

Figura 2. Mapas de favorabilidade ambiental para a ocorrência de ferrugem asiática da soja no RS.



A: Favorabilidade ambiental no dia 07/02/2022, B: Favorabilidade ambiental no dia 21/02/2022, C: Favorabilidade ambiental no dia 07/03/2022 e D: Favorabilidade ambiental no dia 21/03/2022.

Fonte: Smart Agri (2022).

Durante o período ambiental favorável para ocorrência da doença em algumas regiões do estado, pode-se perceber a detecção dos primeiros esporos, mesmo que essa quantidade de esporos e condição ambiental supostamente não tenham promovido o aparecimento dos primeiros sinais de ferrugem asiática. Na metade da primeira quinzena de fevereiro, foi visível um decréscimo na quantidade de esporos capturados, coincidindo com uma menor favorabilidade ambiental e a lavoura permaneceu sem o estabelecimento da ferrugem asiática. A partir do início de março, ocorreu um aumento no número de esporos capturados e o início do aparecimento de ferrugem asiática nos folíolos de soja, sendo que paralelamente visualizou-se uma crescente favorabilidade ambiental para a ocorrência da doença.

4. CONCLUSÕES

A utilização do coletor de esporos associados a mapas de favorabilidade ambiental podem ser ferramentas aliadas na tomada de decisão quanto a aplicação de fungicidas na cultura da soja para controle de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). Esses recursos possibilitam uma boa precisão do período em que a lavoura se encontra mais suscetível aos primeiros sintomas/sinais da doença, sendo que essa alternativa não só auxilia na redução dos riscos de infestação, mas

também em uma utilização mais racional de produtos químicos, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira** - Grãos: 10º Levantamento de grãos - Safra 2022/23. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023.

CRUZ, T. V. et al. Perdas causadas pela ferrugem-asiática em cultivares de soja semeadas em diferentes épocas, no Oeste da Bahia. **Tropical Plant Pathology**, vol. 37, p. 255-265, jul-ago, 2012.

GODOY, C.V. et al. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, vol 31, p. 63-68, jan-fev, 2006.

GODOY, C. V. et al. **Ferrugem-asiática da soja**: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. Embrapa Soja: Londrina, PR, 2020, 40p.

DA, CONTROLE E. O. TRIÂNGULO. PRINCÍPIOS GERAIS DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS. **Prof. Sami J. Michereff**, p. 103, 2001.

OLIVEIRA, G. M et al. Coletor de esporos: descrição, uso e resultados no manejo da ferrugem-asiática da soja. **Circular Técnica**, Londrina: Embrapa Soja, n. 167, 2020. 18 p.

MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PERCEVEJOS NA CULTURA DA SOJA SAFRA 2022/2023

Spatial distribution maps of bed bugs in soybean crop 2022/2023

Geizeli Mergen Röhrs¹; Ivan Carlos Maldaner¹; Marcelo Farias¹; Luciano Zucuni Pes¹; André Müllich¹; Kaue da Silva Bosi¹; Guilherme Bortolotto da Silva¹; Mariana Rodrigues de Freitas¹

¹ Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, geizelirohrs@gmail.com, ivan.maldaner@ufsm.br, marcelo.farias@ufsm.br, lucianopes@politecnico.ufsm.br, andre.mullich@hotmail.com, kauebosi7@gmail.com, guilhermebortolottodasilva@gmail.com, marirodfreitas@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar mapas de incidência de pragas na cultura da soja na safra 2022/23 com o intuito de correlacionar os mapas com o estágio de desenvolvimento da cultura de acordo com a variabilidade espacial dentro do talhão. Os mapas de calor são uma ferramenta para o monitoramento de pragas, sendo uma alternativa para viabilizar uma produção mais rentável e sustentável aos produtores onde os mesmos podem analisar áreas dentro de sua propriedade onde há maior incidência para saber o manejo a ser adotado, bem como futuramente realizar aplicação de produtos de uma forma localizada e assertiva. Em suma, os mapas de calor da distribuição espacial de percevejos podem ser amplamente utilizados para avaliar as áreas de maior incidência de pragas e permitindo a aplicação precisa de medidas de controle, minimizando impactos ambientais e contribuindo com a sustentabilidade do sistema.

Palavras-chave: Soja. Mapas de calor, produção sustentável.

ABSTRACT

The present work aims to present prediction incidence maps for soybean crops in the 2022/23 harvest with the aim of correlating the maps with the crop's development stage according to the spatial variability within the plot. Heat maps are a tool for monitoring forecasts, being an alternative to enable more profitable and sustainable production for producers where they can analyze areas within their property where there is greater incidence to know the management to be adopted, as well as In the future, it will apply products in a localized and assertive way. In short, heat maps of the spatial distribution of perceptions can be widely used to evaluate the areas of highest incidence of forecasts and allow the precise application of control measures, minimizing environmental impacts and contributing to the sustainability of the system.

Keywords: Soybean. Heat maps. Sustainable production.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max*) se encontra atualmente como uma das maiores *commodities* agrícolas do mundo, porém, junto com todos os pacotes tecnológicos utilizados nessa cadeia produtiva em nosso país se torna necessária a utilização de novas ferramentas para auxiliar os produtores nas tomadas de decisão.

O crescimento da indústria da soja no país sempre esteve intrinsecamente ligado aos progressos científicos e à disponibilização de tecnologias para o setor produtivo. A automação e a criação de variedades de cultivo altamente produtivas, adaptadas às diversas regiões, juntamente com o desenvolvimento de conjuntos tecnológicos abrangendo o manejo de solos, adubação, calagem, controle de pragas e doenças, bem como a identificação e resolução dos principais fatores que causam perdas durante a colheita, constituem elementos impulsionadores desse avanço (FREITAS, 2011).

Desta forma, os insetos-praga vêm sendo cada vez mais recorrentes nas lavouras comerciais de nosso país. Tendo em vista que os insetos constituem um dos fatores que podem acarretar em perdas significativas na produtividade e a quantidade de agrotóxicos que vem sendo utilizada para controle dos mesmos gerando maiores custos para produção e maiores riscos ao

meio ambiente. Entre os insetos que mais causam danos econômico ao produtor na cultura da soja se encontram o complexo de percevejos fitófagos.

O manejo integrado de pragas (MIP) é uma ferramenta de controle amplamente utilizada atualmente devido a transição que a agricultura está passando, rumo a um cultivo mais sustentável por meio de uma produção integrada. A produção integrada utiliza o conceito de boas práticas agrícolas contemplando manejo visando a conservação do solo, MIP, utilização consciente de agroquímicos e eliminar o uso de agroquímicos tóxicos ao meio ambiente e ao ser humano (LIMA et al., 2008). O controle localizado vem para complementar o MIP pois além de um método inovador, se consegue através do mapeamento das pragas fazer uma melhor utilização e melhorar a aplicação do inseticida (AITA, 2013).

O propósito da agricultura de precisão é identificar as discrepâncias presentes nas áreas agrícolas e promover a criação de métodos de manejo específicos (PIRES, 2004). A população de insetos apresenta uma dinâmica em constante mudança, caracterizada por variações rápidas tanto em termos espaciais quanto temporais, o que torna o manejo localizado um desafio. No entanto, a modernização da agricultura, por meio do desenvolvimento de máquinas e equipamentos com tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas que compõem a essência da agricultura de precisão, pode ser empregada para identificar as oscilações no talhão e realizar um controle direcionado das pragas de insetos. (AITA, 2013).

O objetivo deste estudo foi avaliar a existência de pragas em áreas específicas dentro do talhão designado. Isso permitiu fazer uma análise da dispersão das pragas ao longo do tempo e do espaço, utilizando técnicas de georreferenciamento para criar representações visuais em forma de mapas de calor.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

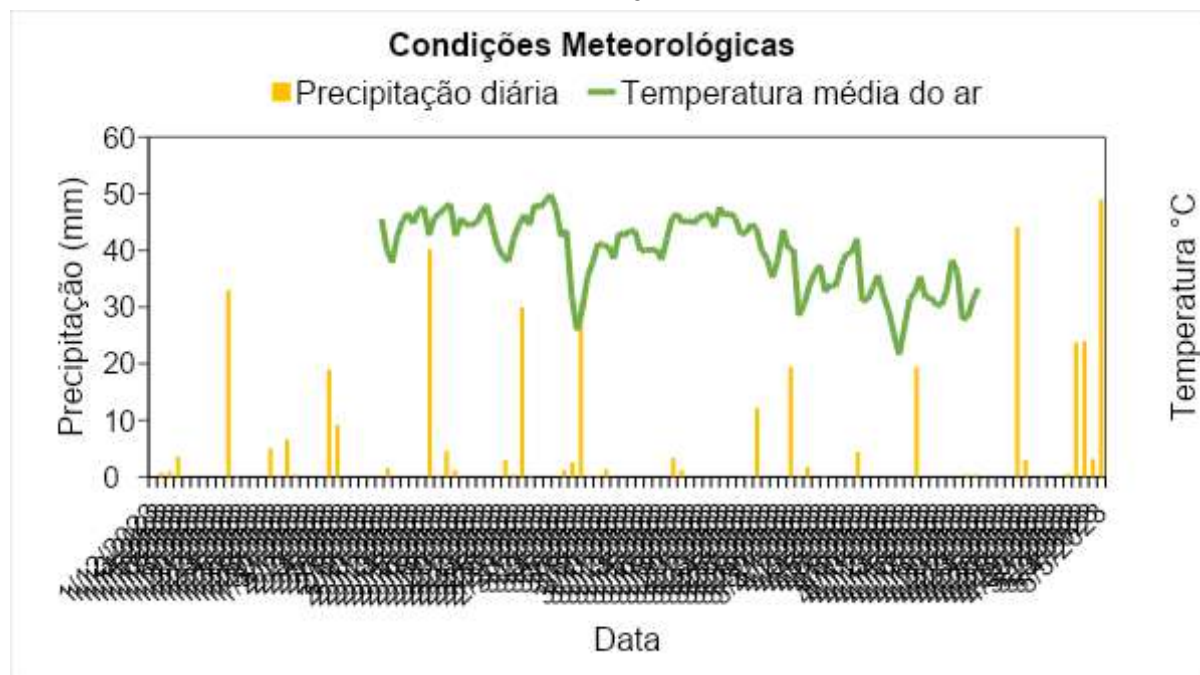
A realização do estudo se deu na área Nova do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (29°43' 37,81" S, 53°45' 19,24" W, a 106 m de altitude – Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), o clima da região é o subtropical úmido (Cfa). De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia, a temperatura média durante o ciclo da cultura ficou ao redor de 23°C e a precipitação em 357,6mm (Figura 2).

Figura 1 – Imagem de satélite do talhão Carrapicho com os pontos avaliados.



Fonte: Satélite Sentinel-2

Figura 2 – Precipitação diária, temperatura média ao longo do ciclo da cultura. Santa Maria– RS, 2022.



Fonte: Adaptado de INMET (2023)

Foi selecionado o talhão denominado Carrapicho para determinar pontos fixos utilizados nas avaliações das pragas. A cultivar M5947 IPRO foi implantada neste talhão de 6 hectares no dia 12 de janeiro de 2023 com uma densidade de semeadura de 20 plantas/metro² com espaçamento entre linhas de 40 cm e entre plantas de 10 cm. O conjunto de máquinas utilizado foi trator MF 6714 juntamente com a semeadora PANTHER SM 9000. A adubação de base com a 03-21-21 foi feita conforme a necessidade da área que foi 300 kg em área total. Os tratos culturais foram feitos conforme recomendações agrônômicas necessárias.

O monitoramento em cada ponto foi realizado conforme demanda mais ou menos a cada 10 dias, entre os meses de março e abril onde a soja já se encontrava em estágio reprodutivo. Foram delimitados 18 pontos aleatórios dentro do talhão onde realizou-se o monitoramento das pragas da cultura da soja com pano de batida vertical (GUEDES, et.al, 2006).

Para localizar os pontos dentro da área, empregou-se o uso de uma plataforma digital onde foi definido um grid amostral de 1 ponto por hectare com 3 subamostras em cada um. Os dados das pragas encontradas no dia do pano de batida eram enviados para uma planilha eletrônica. A análise dos mapas de calor foi feita posteriormente para ver o índice de incidência de pragas no QGIS, onde se criou os mapas de calor. Os dados coletados foram organizados em planilha eletrônica do Excel. Os mapas foram gerados a partir da técnica de interpolação por krigagem através do software *Smart-Map*.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PERCEVEJOS NA SOJA

As famílias Pentatomidae e Heteroptera, compreendem o maior grupo de pragas da cultura da soja (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000) devido seu grande impacto na produtividade final da cultura pois o ataque de percevejos afeta principalmente a fase reprodutiva/ enchimento de grãos. Dentro deste grupo, as espécies de *E. heros*, *Nezara Viridula* são consideradas principais pragas de importância econômica devido sua alta incidência nas áreas de soja do país (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000).

O percevejo *Dichelops melacanthus* é considerado uma praga secundária na soja pois as plantas são tolerantes ao ataque deste tipo de percevejo devido seu ataque ser no período

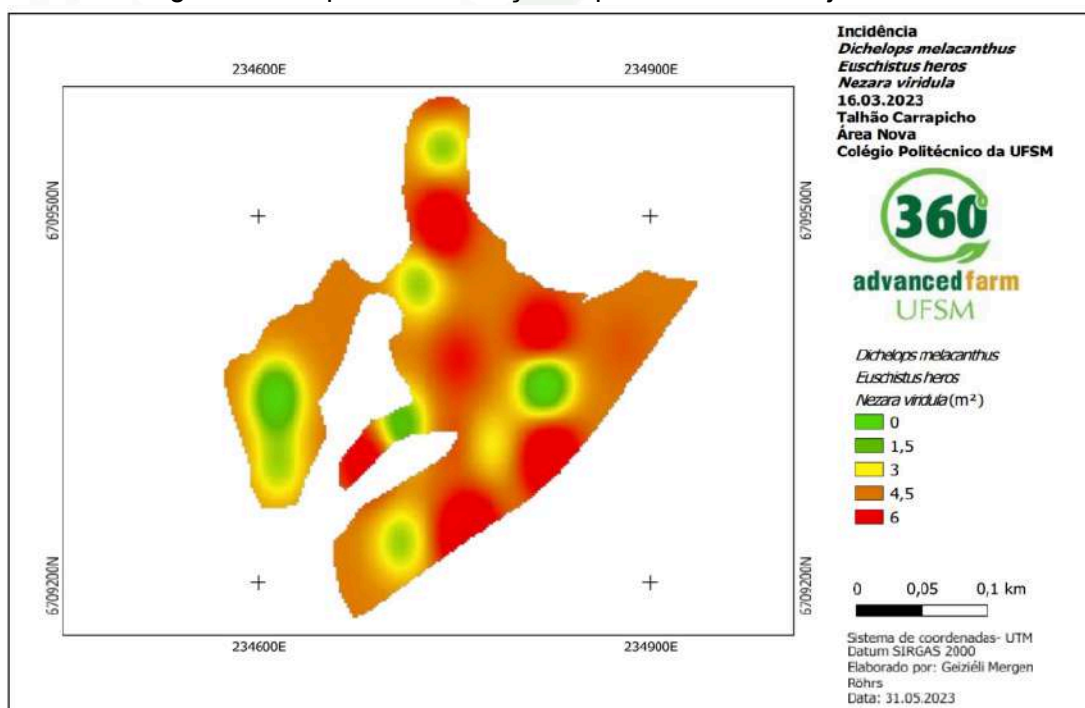
cotiledonar, ou seja, no início da safra proporcionando tempo para a cultura se recuperar (CHOCOROSQUI, 2001).

Tendo em vista a cultivar utilizada M5947 IPRO, a qual possui GMR 5.9, classificada também como superprecoce. As fases fenológicas com maiores riscos de perdas se encontram a partir de R4 até R5.5 (GUEDES et al. 2012). Devido a data de semeadura, no dia da realização do primeiro pano de batida 16/03 a cultura estava no estágio fenológico R3/R4 no geral. Na realização do 2º pano de batida no dia 27/03 a cultura se encontrava no estágio R4/R5. No 3º pano de batida a cultura se encontrava em R6/R7.

Com a finalidade de reduzir a infestação de percevejos que se encontrou no primeiro pano de batida (Figura 3) foi feita aplicação de inseticidas com princípio ativo Tiametoxam+Lambda-cialotrina; classe: inseticida sistêmico de contato e ingestão; Grupo químico: neonicotinoide e piretroide. A dose aplicada foi de 0,2 L.ha⁻¹.

Ao analisar os panos de batida realizados no dia 16.03.2023 (Figura 3), pode-se perceber que havia uma alta infestação de percevejos na área, no geral, porém com alguns pontos específicos da área com uma infestação menor isto se dá devido a heterogeneidade da área como pode ser percebido no mapa de índices de biomassa. Outra relação a ser feita é o estágio fenológico em que a cultura se encontrava neste dia, que estava entre R3 e R4, fase crítica de risco de perdas sob ataque dessa praga.

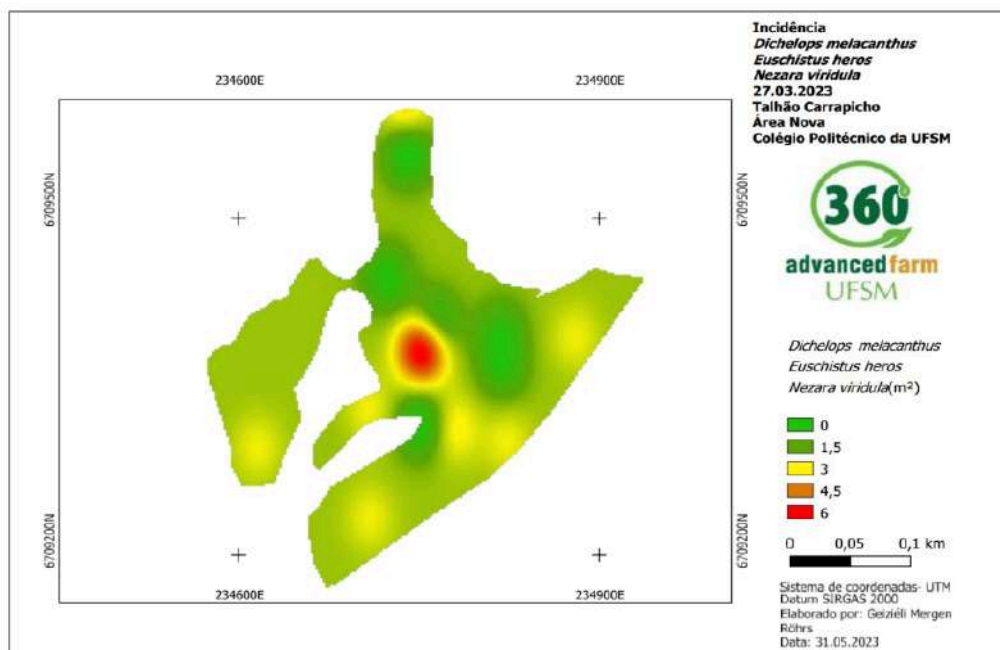
Figura 3 – Mapa de distribuição espacial de Percevejos dia 16.03.2023



Fonte: Autores (2023)

Avaliando os panos de batida realizados no dia 27.03.2023 (Figura 4), pode-se perceber uma redução da incidência da praga pois foi feita a aplicação de agrotóxicos após a análise do primeiro mapa gerado o qual estava com uma alta infestação. O estágio fenológico em que se encontravam as plantas era entre R4 e R5 os quais se tem maiores danos econômicos pelo complexo de percevejos.

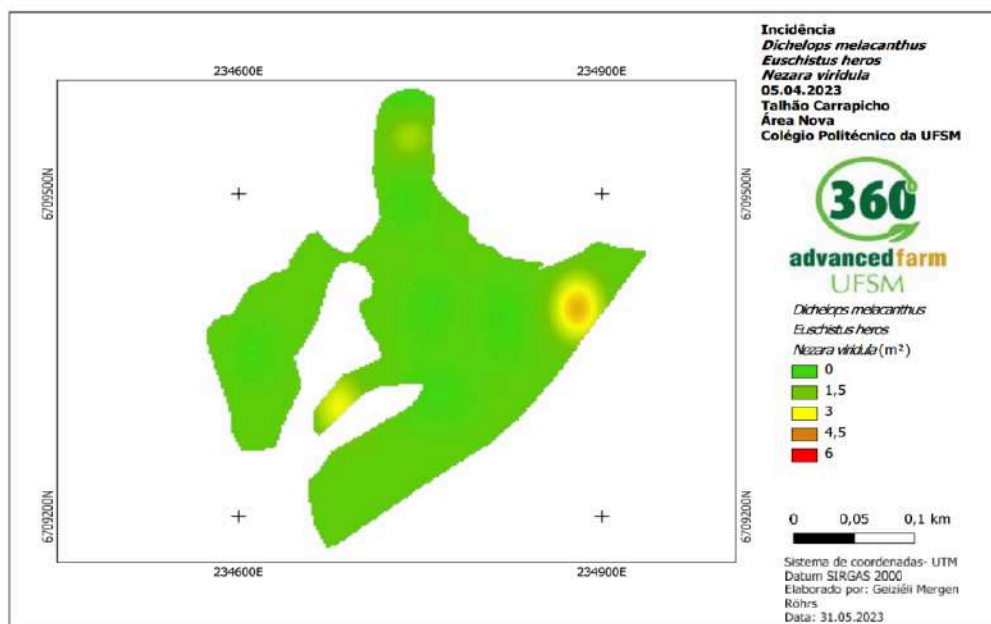
Figura 4 – Mapa de distribuição espacial de Percevejos dia 27.03.2023



Fonte: Autores (2023)

No último monitoramento, que foi realizado no dia 05.04.2023 (Figura 5), pode-se perceber que havia reduzido significativamente a população de percevejos este fato ocorreu devido ao estágio avançado em que se encontrava a soja R6 e R7, nessa fase o nível de dano econômico (NDE) não é alta se comparada a outras fases. Após análise dos dados dos monitoramentos realizados pode-se perceber uma maior incidência desse tipo de inseto-praga em alguns pontos específicos do talhão (Tabela 1).

Figura 5 – Mapa de distribuição espacial de Percevejos dia 05.04.2023



Fonte: Autores (2023)

Tabela 1- Coordenadas geográficas dos pontos que maior incidência de pragas no talhão

Pontos	Latitude	Longitude
2	-29.71867554347644°	-53.741842369635336°
3	-29.718125399677675°	-53.74118292713053°
6	-29.717250772179455°	-53.741215569918616°
9	-29.71737024294255°	-53.74188780784607°
12	-29.716373399221716°	-53.74199509620667°
18	-29.718098485030232°	-53.742630320449976°

Fonte: Autores (2023)

Através dos monitoramentos realizados no talhão foi possível identificar que algumas áreas específicas dentro dele possuem maior incidência de pragas (Tabela 1); 1º monitoramento- pontos 2,3,6,9,12 e 18 (Figura 1); 2º monitoramento- pontos 9,3 e 18 (Figura 1), 3º monitoramento- ponto 18 (Figura 1); a partir da localização dos pontos de maior frequência Tabela 1, é indicado que se faça o manejo localizado da cultura devido a diferença de populações do inseto praga na área.

4. CONCLUSÃO

A partir do referido trabalho, conclui-se que os mapas de calor da distribuição espacial de percevejos podem ser amplamente utilizados para avaliar as áreas de maior incidência de pragas e permitindo a aplicação precisa de medidas de controle. Através do uso de tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, foi possível mapear a distribuição espacial das pragas. Em última análise, a integração de práticas de Manejo Integrado de Pragas e técnicas de agricultura de precisão oferece uma abordagem promissora para enfrentar os desafios impostos pelos insetos-praga na cultura da soja. Ao melhorar a eficiência do controle de pragas e minimizar os impactos ambientais, essas abordagens funcionaram para o desenvolvimento de uma indústria agrícola mais resiliente e sustentável.

REFERÊNCIAS

- AITA, V. **Manejo de lagartas e percevejos da soja com controle localizado**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3605>. Acesso em: 22/09/2023
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 1948. 479p.
- GUEDES, J. V. C et al. Capacidade de coleta de dois métodos de amostragem de insetos-praga da soja em diferentes espaçamentos entre linhas. **Ciência Rural**. 2006, v. 36, n. 4.
- GUEDES, J. V. C et al. **Percevejos da soja: novos cenários, novo manejo**. Revista plantio direto, p. 1-7, 1 jan. 2012.
- LIMA,D et al. **A produção integrada de soja**. Circular técnica 64, p. 1-8. 2008.
- FREITAS, M. de C. M. A cultura da soja no brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia biosfera** , v. 07, n. 12, p. 1-12, 12 ago. 2011.
- CHOCOROSQUI, V.R. **Bioecologia de espécies de Dichelops (Diceraeus) (Heteroptera: Pentatomidae) e danos em soja, milho e trigo no Norte do Paraná**. 2001. 158f.

HOFFMANN-CAMPO, C.B.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; OLIVEIRA, L.J.; SOSA-GOMEZ, D.R.; PANIZZI, A.R.; CORSO, I.C.; GAZZONI, D.L.; OLIVEIRA, E.B. **Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 70 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 30). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/449719/1/ID6173.pdf> Acesso em: 22/09/2023

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L. Discutindo agricultura de precisão – aspectos gerais. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online; 42). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm. Acesso em: 22/09/2023



APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM TAXA FIXA E VARIADA COMBINADA COM A UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTE FOLIAR NA CULTURA DO TRIGO

Nitrogen application at fixed and varied rate combined with use of foliar fertilizer in wheat crop

Tcheyfer Hoalacy Siqueira¹; Veronica Fuzer Guarienti²; Roger Somavilla Manfio²; Kauê da Silva Bosi²; Augusto Fischer Roberti²; Luciano Zucuni Pes²; Ivan Carlos Maldaner²; Marcelo Silveira De Farias²

¹ Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, 97105-000, Camobi, Santa Maria - RS, Brasil, tcheyfer.siqueira@acad.ufsm.br

² Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, 97105-000, Camobi, Santa Maria - RS, Brasil

RESUMO

A Agricultura de Precisão engloba técnicas de manejo que tratam sobre a variabilidade dos talhões, seja em atributos físicos, químicos ou biológicos. O manejo em taxa variada de fertilizantes é uma técnica que racionaliza o uso de insumos, o qual pode aumentar a produtividade da cultura e promover a sustentabilidade. O Rio Grande do Sul apresenta grande importância na produção de trigo nacional, devido ser o principal estado produtor do cereal, com 5,37 milhões de toneladas produzidas na safra de 2022. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade da cultura do trigo sob taxas variada e fixa de fertilizante nitrogenado e sua resposta à aplicação de fertilizante foliar. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria/RS, na safra de 2022, e contou com duas variáveis: taxa de aplicação de fertilizante nitrogenado e uso de fertilizante foliar, na cultura do trigo. Conclui-se que o uso de fertilizantes foliares com macronutrientes e a aplicação em taxa variada de nitrogênio, com a dose definida a partir do NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) da cultura, aumentaram a produtividade de grãos.

Palavras-chave: Taxa variada. Nitrogênio. Fertilizante foliar.

ABSTRACT

Precision Agriculture encompasses management techniques that deal with the variability of fields, whether in physical, chemical, or biological attributes. Varied fertilizer rate management is a technique that rationalizes the use of inputs, which can increase crop productivity and promote sustainability. Rio Grande do Sul is of great importance in national wheat production, as it is the main producing state of the cereal, with 5.37 million tons produced in the 2022 growing season. Therefore, the objective of the work was to evaluate the productivity of the crop of wheat under varying and fixed rates of nitrogen fertilizer and its response to leaf fertilizer application. The work was developed at the Federal University of Santa Maria, in Santa Maria/RS, in the 2022 growing season, and included two variables: application rate of nitrogen fertilizer and use of leaf fertilizer, in wheat cultivation. It is concluded that the use of leaf fertilizers with macronutrients and the application of nitrogen at varying rates, with the rate defined based on the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) of the crop, increased grain productivity.

Keywords: Varied rate. Nitrogen. Leaf fertilizer.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) adota um sistema de manejo que admite que o campo apresenta variabilidade, de tal forma que a prática da semeadura e aplicação de insumos pode sofrer variações dentro do talhão, seja em quantidade de sementes ou dose de produto (VALENCIA et al., 2001).

A identificação da variabilidade do talhão permite a aplicação em taxa variada de fertilizantes, onde cada região do talhão receberá uma determinada dose de nutrientes, de acordo com o potencial de rendimento de cada área. O manejo em taxa variada permite uma aplicação mais sustentável, pois estará sendo ajustada a dose de fertilizante ao que realmente as plantas necessitam, sem excessos ou déficits, nas diferentes subáreas do talhão. A taxa variada de fertilizantes, ao longo dos anos, pode resultar em economia de insumos e aumento de produtividade, em comparação à taxa fixa. Molin et al. (2006), estudando essas duas formas de aplicação de fósforo e potássio em plantação de café, evidenciaram um aumento de produtividade

de 34% em taxa variada, além de uma economia no uso de fertilizantes fosfatados de 23% na aplicação em taxa variada, em relação à taxa fixa.

Para aplicação em taxa variada em AP, a coleta de dados é a primeira etapa, pois esta prática permite a identificação da variabilidade presente no talhão, podendo tanto ser referente a produtividade, como também os diversos fatores que interferem na mesma (SARAIVA et al., 2000). Esses fatores podem estar relacionados com os parâmetros químicos (fertilidade), físicos (compactação) e biológicos do solo (microrganismos e enzimas). Para esta coleta de informações, há diversas ferramentas e equipamentos de AP que fazem uso de sensores e registram a variabilidade existente em cada ponto georreferenciado. Posteriormente à coleta de dados, com o uso de softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), é possível a geração de mapas para aplicação em taxa variável de diferentes produtos, como fertilizantes, defensivos, entre outros.

A adoção desta prática acarreta o investimento de tempo e recursos para sua realização. Entretanto, esta ferramenta se torna viável quando seus custos de implantação são minimizados e realizados de forma rápida (MILANI et al., 2006; ZHANG et al., 2010). Diante disso, tem-se como opção diversos sensores de vegetação no mercado, como o Greenseeker®, N-Sensor® e o Crop Circle®, os quais trabalham com leitura de reflectância em tempo real e com alta qualidade de resolução espacial (VIAN et al., 2018). Estes sensores, quando acoplados em máquinas agrícolas, permitem a realização da adubação em taxa variada.

A cultura do trigo se destaca no cenário agrícola brasileiro tanto em área como também em produtividade. A safra de 2022 registrou uma área de 3,08 milhões de hectares cultivados com o cereal no Brasil, bem como um aumento de 11% na área cultivada em 2023, enquanto a produtividade média da cultura foi de 3.420 kg ha⁻¹ no país (CONAB, 2023). O Rio Grande do Sul (RS) é o maior estado produtor de trigo no Brasil, com um total de 5,37 milhões de toneladas produzidas na safra de 2022 e obteve a segunda maior produtividade média de trigo do país, com 3.941 kg ha⁻¹, apenas atrás do estado da Bahia, que registrou 5.700 kg ha⁻¹ na mesma safra (CONAB, 2023). A partir desse cenário, analisa-se a grande contribuição do RS na produção do cereal, por isso a importância de desenvolver tecnologias e de melhorar o manejo da cultura com práticas de AP, que visam atingir maiores produtividades e de forma sustentável.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados apresenta grande relevância na agricultura, pois o elemento é o mais exigido pelas plantas. Ele possui contribuição na constituição celular dos vegetais, além de estar envolvido em diferentes processos metabólicos e fisiológicos (TAIZ et al., 2017). Há alguns estágios importantes na cultura do trigo, em que ocorre maior exigência de nitrogênio (N), pois o nutriente possui forte influência na determinação dos componentes de rendimento. Nesse sentido, se a quantidade de N disponível às plantas não for o suficiente no momento da pré-antese, algumas estruturas da planta podem ser prejudicadas, como o crescimento e desenvolvimento dos perfilhos e a sobrevivência das flores que já sofreram diferenciação, as quais impactam diretamente na produtividade da cultura (ZHAO et al., 2020).

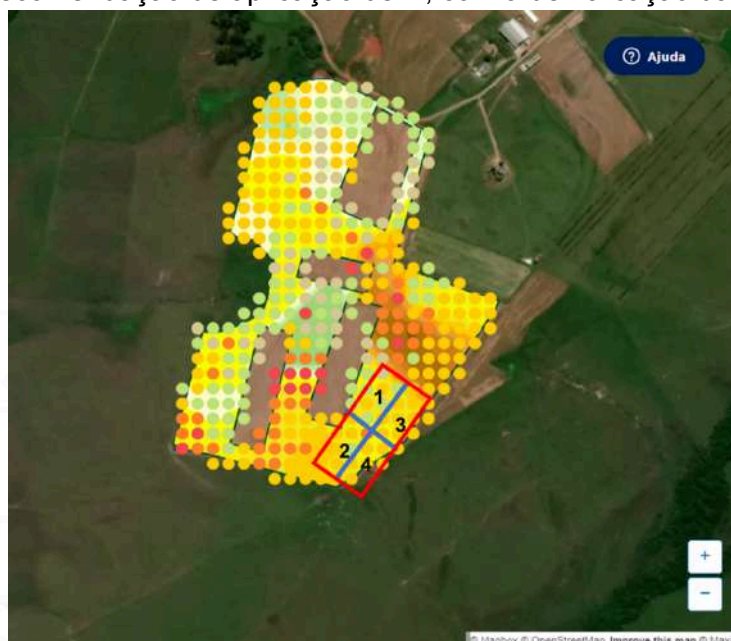
Uma das formas de fornecimento dos nutrientes às plantas, depois da implantação da lavoura, é através da adubação foliar. A aplicação de fertilizantes foliares tem se desenvolvido nos últimos anos, em virtude, dentre outros fatores, da necessidade de se buscar altas produtividades das culturas. Nesta perspectiva, produtos cada vez mais eficientes e econômicos têm sido desenvolvidos para satisfazer as exigências nutricionais das plantas. Atualmente, muitos fertilizantes foliares estão disponíveis no mercado, como fornecedor de um ou mais nutrientes (Souza et al., 2008).

Em alguns casos, o uso de fertilizantes foliares pode não apresentar grandes respostas produtivas na cultura do trigo, entretanto, eles têm um alto potencial para incrementar o peso hectolitro (PH), que se apresenta como um importante componente de rendimento que está diretamente ligado à qualidade do trigo (MARTIN et al., 2021). Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade da cultura do trigo sob taxas variada e fixa de fertilizante nitrogenado e sua resposta à aplicação de fertilizante foliar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no município de Santa Maria/RS (Figura 1). O clima da região é classificado como Cfa (Clima Subtropical Úmido), segundo classificação de Köppen (1918).

Figura 1 - Mapa de recomendação de aplicação de N, com a demarcação da área experimental.



Legenda: T1 = taxa variada com adubação foliar, T2 = taxa variada sem adubação foliar, T3 = taxa fixa com adubação foliar, T4 = taxa fixa sem adubação foliar.

Fonte: Plataforma Atfarm (2023)

Os tratamentos utilizados foram a estratégia de aplicação do fertilizante nitrogenado (taxa fixa e taxa variada), combinada com a aplicação ou não de fertilizante foliar, na cultura do trigo, na safra de 2022. Foi utilizada a cultivar TBIO Audaz, a qual foi semeada no dia 07/07/2022, com semeadora modelo Stara Ceres, de 12 linhas de semeadura, espaçadas em 0,17 m. Foi utilizada uma densidade de 140 kg ha⁻¹ de sementes e 250 kg ha⁻¹ de adubo NPK, formulação 05-30-15, na adubação de base. As sementes de trigo foram tratadas com fungicida e inseticida antes da semeadura.

Os tratamentos ficaram assim distribuídos:

- T1: Taxa variada de fertilizante nitrogenado com adubação foliar (TV com foliar)
- T2: Taxa variada de fertilizante nitrogenado sem adubação foliar (TV sem foliar)
- T3: Taxa fixa de fertilizante nitrogenado com adubação foliar (TF com foliar)
- T4: Taxa fixa de fertilizante nitrogenado sem adubação foliar (TF sem foliar)

A área do experimento foi de 1 ha, sendo que cada tratamento possuiu 0,25 ha, sem repetições. O fertilizante nitrogenado utilizado foi o sulfato de amônio. Sua aplicação, tanto em taxa variada quanto fixa, foi realizada com o distribuidor de sólidos, modelo Twister 1500 APS Stara. A época de aplicação foi na fase de pleno perfilhamento da cultura do trigo.

A taxa fixa de N foi realizada com uma dose de 100 kg ha⁻¹ de N. Já os tratamentos com taxa variada de N foram prescritos a partir da plataforma digital Atfarm, da Yara Fertilizantes (Figura 1). Esta plataforma gera recomendações de fertilizantes nitrogenados a partir de imagens de satélite da lavoura (NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), utilizando o algoritmo próprio da empresa (N-Sensor®). As avaliações de NDVI, na cultura do trigo, apresentam alta correlação positiva com a produtividade de grãos e a quantidade de biomassa, sendo considerada uma ferramenta muito eficiente para estimativa dessas variáveis (Trentin, 2019). A recomendação gerada foi posteriormente transferida, através de pen drive, para o Topper 4500 Stara, para que a aplicação fosse realizada.

O fertilizante foliar utilizado foi o YaraVita Folicare, cuja composição contém quatro macronutrientes: nitrogênio (12% de N), potássio (39% de K), enxofre (2,8% de S) e magnésio (1,8% de Mg). A aplicação deste fertilizante foi realizada no estágio de antese da cultura, com equipamento autopropelido Modelo MF 8225 - Massey Ferguson, na dose de 4 kg ha⁻¹. A avaliação dos tratamentos foi realizada através da produtividade de grãos, em que foram colhidas as parcelas com uma colhedora modelo MF 32 Advanced, equipada com sensor de produtividade e umidade de grãos. As informações geradas (latitude, longitude, produtividade, umidade e demais informações de interesse) ficam armazenadas na forma de texto (MOLIN et al., 2000).

Após a colheita, os dados gerados foram visualizados e extraídos com auxílio do software QGIS. De cada tratamento foram extraídos 15 pontos de colheita. Estes 15 pontos foram selecionados a partir do cálculo da média de cada tratamento, sendo selecionados os 15 valores mais próximos à média, sendo eliminados os valores extremos (outliers). Esses valores foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e, posteriormente, a um teste de comparação de médias (Tukey 5%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As maiores produtividades de grãos foram encontradas nos tratamentos com fertilizante foliar (T1 – TV com foliar e T3 – TF com foliar), com médias de 3.331 kg ha⁻¹ e 2.986 kg ha⁻¹ (Tabela 1), respectivamente, apresentando um acréscimo de 9% em função da taxa variada de adubação nitrogenada. Os tratamentos sem fertilizante foliar apresentaram médias produtivas de 2.857 kg ha⁻¹ em taxa variada e 2.535 kg ha⁻¹ em taxa fixa, com uma variação de 8% na produtividade a favor da taxa variada.

Tabela 1 - Produtividade média (kg ha⁻¹) dos tratamentos analisados.

Tratamento	Produtividade média (kg ha ⁻¹)
T1 (TV com foliar)	3.331 a
T3 (TF com foliar)	2.986 b
T2 (TV sem foliar)	2.857 c
T4 (TF sem foliar)	2.535 d

Legenda: T1 (TV com foliar = taxa variada de nitrogênio, com fertilizante foliar); T3 (TF com foliar = taxa fixa de nitrogênio, com fertilizante foliar); T2 (TV sem foliar = taxa variada de nitrogênio, sem fertilizante foliar); T4 (TF sem foliar = taxa fixa de nitrogênio, sem fertilizante foliar). Médias seguidas por letras diferentes apresentaram diferença pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autores (2023)

Pode-se analisar o incremento produtivo dos tratamentos que tiveram aplicação do fertilizante foliar composto por quatro macronutrientes. Os nutrientes exigidos em maiores quantidades pela planta de trigo são, em ordem decrescente, o nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), enxofre (S) e o magnésio (Mg) (FILHO, 2008). Neste sentido, a adubação foliar pode suplementar e/ou oferecer esses nutrientes à planta, principalmente nos estágios de maior necessidade. Dessa forma, pode-se inferir que os principais nutrientes demandados pela cultura foram disponibilizados quando sua demanda era maior, resultando em maiores produtividades de grãos.

Após o N, o K é o nutriente que está em maior concentração no tecido vegetal e nos grãos do trigo. Além de atuar na resistência da planta de trigo à seca, o elemento também atua em funções importantes, como enchimento de grãos e qualidade final do produto (BARKER; PILBEAM et al., 2015), o que justifica a elevada concentração de potássio (39% de K) no fertilizante foliar aplicado.

A aplicação foliar pode ser útil, por exemplo, na adubação nitrogenada, principalmente quando o solo apresentar déficit hídrico e não existir previsão de chuva, visto que o fertilizante sólido necessita de umidade para reagir no solo e poder ser mais bem aproveitado (PIRES et al. 2011). Porém, como a adubação foliar permite oferecer à planta apenas uma pequena quantidade de N, ela é indicada apenas em lavouras com alto potencial de rendimento, em períodos de

estiagem ou solos com teor baixíssimo de matéria orgânica, cujo suprimento de N por este meio será insuficiente (PIRES et al., 2011). Além disso, o uso de fertilizantes foliares contendo K, quando aplicados aos 80 dias após a semeadura do trigo, refletem em maiores concentrações do elemento nas folhas, pois coincide com a fase de maior exigência da cultura, o florescimento (LOTICI, 2023).

De acordo com Trindade et al. (2006), que avaliaram a influência do N e da água na produtividade do trigo, quando não aplicado o N em cobertura, obteve-se uma redução de 22,6% na produtividade da cultura. Além disso, os autores encontraram que grande parte dos componentes de rendimento do trigo sofrem influência direta à disponibilidade de N. A ausência do nutriente pode diminuir a eficiência no uso da água pela cultura e na interceptação da radiação solar pela planta. Dessa forma, a utilização do N pela planta sofre influência direta da disponibilidade hídrica durante o seu ciclo. Por outro lado, o excesso hídrico no período final da cultura, bem como doses elevadas de N, que favorecem seu crescimento, podem facilitar o acamamento do trigo, dependendo do genótipo, que determina a altura de planta, a resistência do colmo e o sistema radicular (FILHO et al. 2008). Devido ao acamamento, a planta realiza menos fotossíntese e a translocação da seiva fica prejudicada, reduzindo o rendimento (ZAGONEL e FERNANDES, 2007). Portanto, as condições climáticas são fatores indispensáveis a serem considerados na escolha do investimento ou não em fertilizantes foliares.

Ao se analisar os resultados obtidos sobre a resposta à fertilização nitrogenada em taxa variada, Amado et. al. (2016), no município de Carazinho/RS, verificaram que as zonas de baixa produtividade apresentaram os menores índices de eficiência no uso do N, apresentando limitada resposta à fertilização nitrogenada. A dose de N que maximizou a produção na zona de baixa foi inferior à dose que maximizou a zona de média produtividade e esta, por sua vez, menor que a zona de alta. Portanto, aplicações de elevadas doses do fertilizante nitrogenado em áreas onde o alcance produtivo será baixo, resulta em menor retorno econômico e maior impacto ambiental, uma vez que o N possui baixo efeito residual. A adubação nitrogenada na cultura do trigo não é importante somente para o aumento da produtividade, mas também para a melhor qualidade fisiológica das sementes, de forma que o fornecimento de 120 kg de N ha⁻¹, em cobertura, resulta no melhor resultado fisiológico (BRZEZINSKI et al., 2014).

4. CONCLUSÃO

A taxa variada de fertilizantes nitrogenados, quando comparada à taxa fixa, resultou em maior produtividade. O tratamento com taxa variada e uso de fertilizante foliar apresentou o melhor desempenho produtivo, com 3.331 kg ha⁻¹.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados em taxa variada, realizada com o auxílio de plataformas digitais, que utilizam como base para recomendação de dose o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), é uma importante ferramenta da agricultura de precisão.

Além disso, o uso de fertilizante foliar, contendo quatro macronutrientes (nitrogênio, potássio, enxofre e magnésio), contribuiu positivamente, com acréscimo de 8%, na produtividade de grãos de trigo.

REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C. et al. Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul. **Projeto Aquarius - Principais Contribuições e Resultados**. 1 ed. Santa Maria/RS. p 9-26, 2016.

BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton/USA: CRC Press, 2ª ed., 774p., 2015.

BRZEZINSKI, C. R. et al. Nitrogênio e inoculação com *Azospirillum* na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de trigo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, p. 257-265, 2014.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, 10º levantamento, v.10, nº10, julho 2023. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>. Acesso em: 22 ago 2023.

FILHO, D. F. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal - SP: Funep, 1ª ed., 338p., 2008.

KÖPPEN, W. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitt**, v. 64, pp. 193-203, 1918.

LOTICI, J. M. C. Concentração de cálcio e potássio nas folhas de trigo quando aplicados via foliar. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal da Fronteira Sul. 26p. 2023.

MARTIN, T. N. et al. Nitrogênio em cobertura, tratamento de semente e aplicação foliar no trigo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Jandaia/GO, v.18 n.36; p.253, 2021.

MILANI, L. et al. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.4, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P. et al. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. **Agricultura de Precisão**. ESALQ/USP, São Pedro/SP, 2000.

MOLIN, J. P. et al. Taxa variada de P e K em um cafezal e sua influência na produtividade. **2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**. ESALQ/USP, São Pedro/SP, 2006.

PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**, Embrapa Trigo Passo Fundo – RS, p. 135 – 184, 2011.

SARAIVA, A. M. et al. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BORÉM, A. et al. (Org.) **Agricultura de Precisão**. Viçosa. UFV, MG. 2000. p. 109-145.

SOUZA, D. de et al. Produtividade de quatro cultivares de soja em função da aplicação de fertilizante mineral foliar a base de cálcio e boro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50080205>. Acesso em: 17 ago 2023.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 6 ed., p. 858, 2017.

TRENTIN, C. Uso de ferramentas de Agricultura de Precisão nas culturas da soja e do trigo. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

TRINDADE, M. et al. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 24-29, 2006.

VALENCIA, L. I. O. et al. Métodos geoestatísticos para análise e avaliação de riscos em agricultura de precisão. In: **Workshop Brasileiro de Geo-informática**, 2001, Rio de Janeiro, p. 147-152, 2001.

VIAN, A. L.; et al. Nitrogen management in wheat based on the normalized difference vegetation index (NDVI). **Ciência Rural**, v.48, p.1 - 9, 2018.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. **Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio**. Planta Daninha, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

ZHAO, B. et al. Determination of the post-anthesis nitrogen status using ear critical nitrogen dilution curve and its implications for nitrogen management in maize and wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 113, p. 125967, 2020.

ANÁLISE TEMPORAL DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA

TEMPORAL ANALYSIS OF SOYBEAN PRODUCTIVITY MAPS

Gian Pribs Bexaira¹; Guilherme Bortolotto da Silva¹; Guilherme Scapin Muniz¹; André Müllich¹; José Cardoso Sobrinho¹; Luciano Zucuni Pes¹; Ivan Carlos Maldaner¹; Marcelo de Silveira Farias¹.

¹Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº1000, 97105-900, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil. gianbexaira@gmail.com

RESUMO

A agricultura brasileira tem aumentado constantemente a sua produtividade, com o uso eficiente de insumos, haja vista que é uma necessidade mundial: produzir em grande escala, economicamente, socialmente e ambientalmente sustentável. Para alcançar isso, faz-se imprescindível a utilização de ferramentas que otimizem os processos no campo, sendo uma delas a adoção de mapas de colheita dos talhões da propriedade. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi analisar a evolução da produtividade da cultura da soja nas safras 11/12, 15/16 e 18/19, em um talhão agrícola localizado em Santa Maria – RS. Foram obtidos resultados satisfatórios, já que a produtividade de soja do talhão aumentou em cerca de 40%, comparando a safra de 11/12 com a de 18/19.

Palavras-chave: Mapas de colheita. Produtividade. Soja.

ABSTRACT

Brazilian agriculture has constantly increased its productivity, with the efficient use of inputs, given that it is a global need: to produce on a large scale, economically, socially and environmentally sustainable. To achieve this, it is essential to use tools that optimize processes in the field, one of which is the adoption of harvest maps of the property's plots. In this sense, the objective of this study was to analyze the evolution soybean yield in the 11/12, 15/16 and 18/19 harvests, in a field located in Santa Maria – RS. Satisfactory results were obtained, as the field's soybean yield increased by around 40%, comparing the 11/12 harvest with the 18/19 harvest.

Keywords: Harvest maps. Yield. Soybean.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o cenário da agricultura brasileira sofreu mudanças positivas, isso, em função do surgimento, por exemplo, do sistema de semeadura direta (SSD) e da agricultura de precisão (GUEDES FILHO, 2009). O desenvolvimento dessas tecnologias resultou em significativas contribuições para a produtividade agrícola do país e a redução dos impactos ambientais, sendo que a primeira tem relação com o controle da erosão do solo e a segunda com o uso racional de insumos (GUEDES FILHO, 2009).

A agricultura de precisão está fundamentada no fato de que as lavouras não são uniformes no espaço e tão pouco no tempo. Dado isso, tornou-se necessário o desenvolvimento de

tecnologias que identifiquem os problemas ligados à desuniformidade da lavoura com diferentes níveis de complexidade (MOLIN et al., 2015). Nesse sentido, em busca do entendimento dos fatores e causas que afetam a produtividade e qualidade das culturas, teve início a utilização de mais uma ferramenta, os mapas de colheita, que podem vir a ser um parâmetro para a tomada de decisões do produtor (GUEDES FILHO, 2009).

Em relação aos fatores de produção, os mapas de colheita fornecem informações mais completas para visualizar a variabilidade espacial das lavouras, já que eles são compostos por um conjunto de pontos e cada ponto representa uma pequena parcela da lavoura, delimitada pela largura que a plataforma da colhedora possui e pela distância entre duas leituras (MOLIN, 2002). A partir de uma análise sequencial dos mapas de colheita, pode-se definir diferentes manejos no talhão, pois há a possibilidade de identificarmos regiões de déficit ou excesso de água, pressão de plantas invasoras, possíveis erosões ou deficiências de nutrientes no solo (JOHANNSEN et al., 2000).

Por consequência, possibilita uma melhor tomada de decisão no manejo do talhão, visando aprimorar a eficiência, a rentabilidade e a sustentabilidade da produção agrícola. Hoje já estão sendo utilizadas também outras ferramentas, com o objetivo de identificar manchas com valores distintos de produção em uma área, tais como as fotografias aéreas, as imagens de satélite e a videografia. Contudo, ainda nenhuma dessas ferramentas entrega dados com maior fidelidade às condições de cultivo do que a própria resposta da cultura (MOLIN, 2002). Nos dias de hoje, observa-se um aumento na adoção de técnicas associadas à agricultura de precisão, mais especificamente no uso de mapas de colheita.

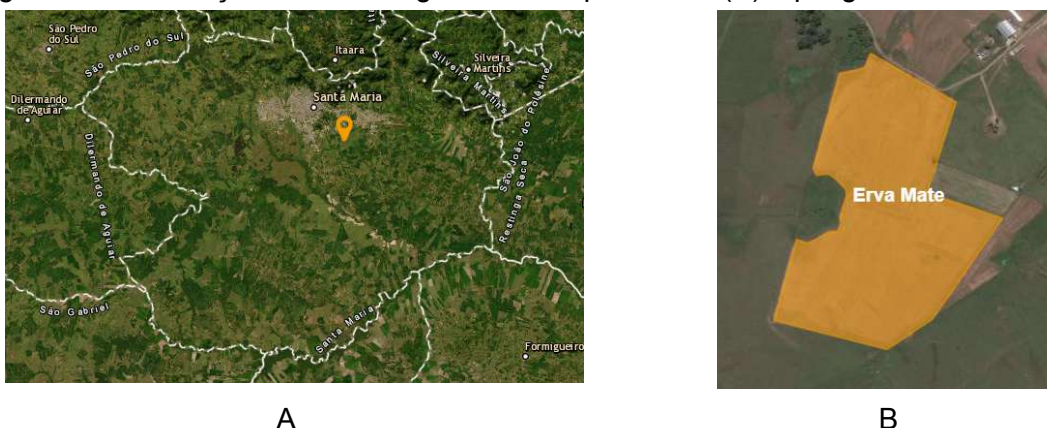
Portanto, objetivou-se com esse trabalho, realizar uma análise temporal da evolução da produtividade na cultura da soja nas safras 11/12, 15/16 e 18/19, em um talhão agrícola localizado em Santa Maria/RS. A hipótese desse estudo é que haverá aumento na produtividade de soja do talhão com o passar dos anos, em virtude da interpretação dos mapas de colheita obtidos, por meio da tomada de decisão de manejos assertivos e precisos na lavoura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCAL

O presente estudo foi conduzido na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, mais especificamente no talhão denominado “Erva Mate”, com área de 13,55 ha, altitude de 95 metros, cujas coordenadas geográficas são: latitude 29°43'49.75" S e longitude 53°45'28.05" O. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa (ALVARES et al. 2013). Conforme Pereira (2009), a área está localizada numa zona de transição entre o Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Central do Rio Grande do Sul. Na Figura 1 é apresentada a localização do talhão agrícola do experimento (Fig. 1A) e detalhe do polígono limítrofe do talhão (Fig. 1B).

Figura 1 - Localização do talhão agrícola do experimento (A) e polígono limítrofe do talhão (B).



Fonte: Plataforma Inceres (2023).

2.2 COLETA DE DADOS

A colhedora de grãos utilizada foi uma Massey Ferguson, modelo 32, que possui uma série de sensores integrados, que desempenham um papel fundamental na atribuição da produtividade de grãos por hectare. Dentre esses sensores, estão presentes o sensor de fluxo de massa e o sensor de umidade de grãos. O sensor de fluxo de massa de grãos é um componente essencial projetado para medir a quantidade de grãos que está sendo coletada. Com base nessas medidas, ele executa um papel crucial no controle da operação da colhedora, permitindo a medição da quantidade de grãos colhidos por unidade de tempo, mais conhecida como rendimento. Por outro lado, o sensor de umidade de grãos é responsável por avaliar o teor de umidade dos grãos durante o processo de colheita, sendo de suma importância, pois é um fator que influencia diretamente na qualidade do produto e sua capacidade de ser armazenada de forma adequada.

Aliado a isso, a utilização desses sensores permite a geração de mapas necessários para as consequentes interferências nos sistemas de produção. No entanto, o volume considerável de dados gerados e gravados automaticamente apresentam erros sistemáticos e a remoção destes é extremamente importante para a qualidade dos mapas.

2.3 FILTRAGEM DOS DADOS

A filtragem dos valores foi realizada com auxílio do software RStudio, que apresenta ferramentas avançadas, destinadas à detecção de imprecisões presentes em conjunto de dados de alta densidade, provenientes de fontes como monitores de colheita, sensores de plantas e informações de solo, este caso, foi utilizado o pacote básico (R Core Team, 2021). Este pacote realiza análise dos dados através de agrupamento de valores similares dentro de distintas classes (clusters), seguindo uma medida de dissimilaridade, neste caso a distância Euclidiana, aumentando a confiabilidade dessas representações, por meio de uma otimização da integridade dos dados.

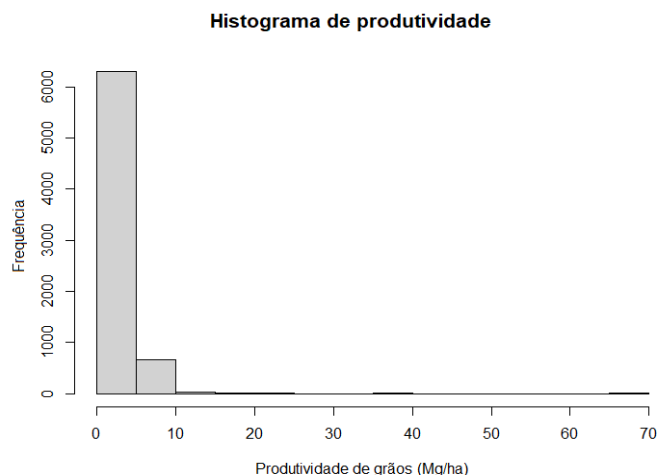
Para a criação dos mapas, utilizou-se o método do vizinho mais próximo como parâmetro para o cálculo da interpolação dos dados. Esta interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos (CARVALHO et al., 2012), produzindo padrões espaciais, que podem ser comparados, neste caso, à produtividade de grãos.

2.4 CLASSES DE PRODUTIVIDADE

Para elaboração dos mapas de colheita foram utilizadas 3 classes de produtividade, as quais foram divididas em alta, média e baixa. A classe de alta corresponde às regiões do talhão

que obtiveram produtividade maior que 105% da média da produtividade. Já a classe de média produtividade corresponde às regiões do talhão que obtiveram produtividade de 95 a 105% da média da produtividade. Por fim, a classe de baixa corresponde às regiões do talhão que obtiveram produtividades menores que 95% da média do talhão. Esta classificação foi proposta por Molin (2002). Na Figura 2 é apresentado o histograma de distribuição de frequência da produtividade de soja registrada pelo sistema de mapeamento da colhedora combinada de grãos, antes do processo de filtragem.

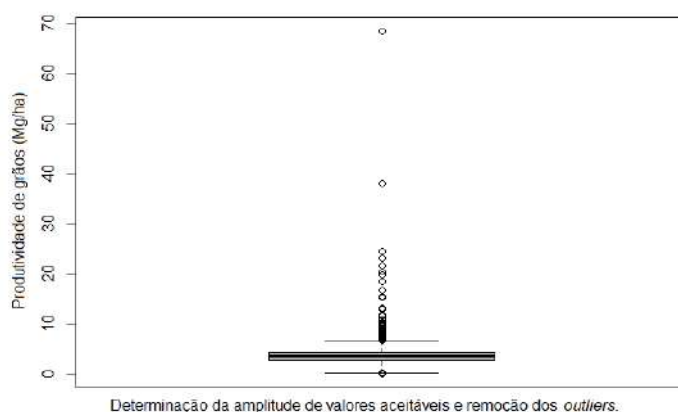
Figura 2 – Histograma de distribuição de frequência da produtividade de soja, registrada pelo sistema de mapeamento da colhedora combinada de grãos, antes do processo de filtragem.



MÜLLICH (2023)

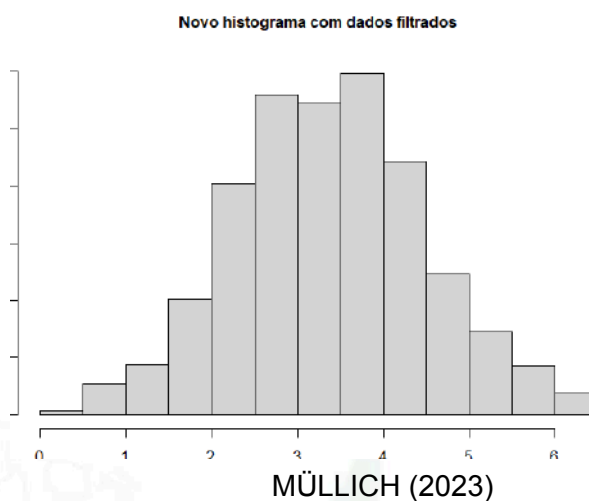
Na Figura 3 é apresentado o gráfico box-plot para os valores de produtividade de soja, indicando a localização do valor médio (barra horizontal) do limite inferior (linha horizontal inferior) e do limite superior (linha horizontal superior), bem como dos valores considerados, pelo algoritmo de filtragem, como sendo outliers (pontos acima da linha horizontal superior). Na Figura 4 é apresentado o histograma de distribuição de frequência da produtividade de soja, registrada pelo sistema de mapeamento da colhedora combinada de grãos, após o processo de filtragem.

Figura 3 – Gráfico box-plot indicando valor médio, limite inferior, limite superior e valores outliers para produtividade de soja registrada pelo sistema de mapeamento da colhedora combinada de grãos.



MÜLLICH (2023)

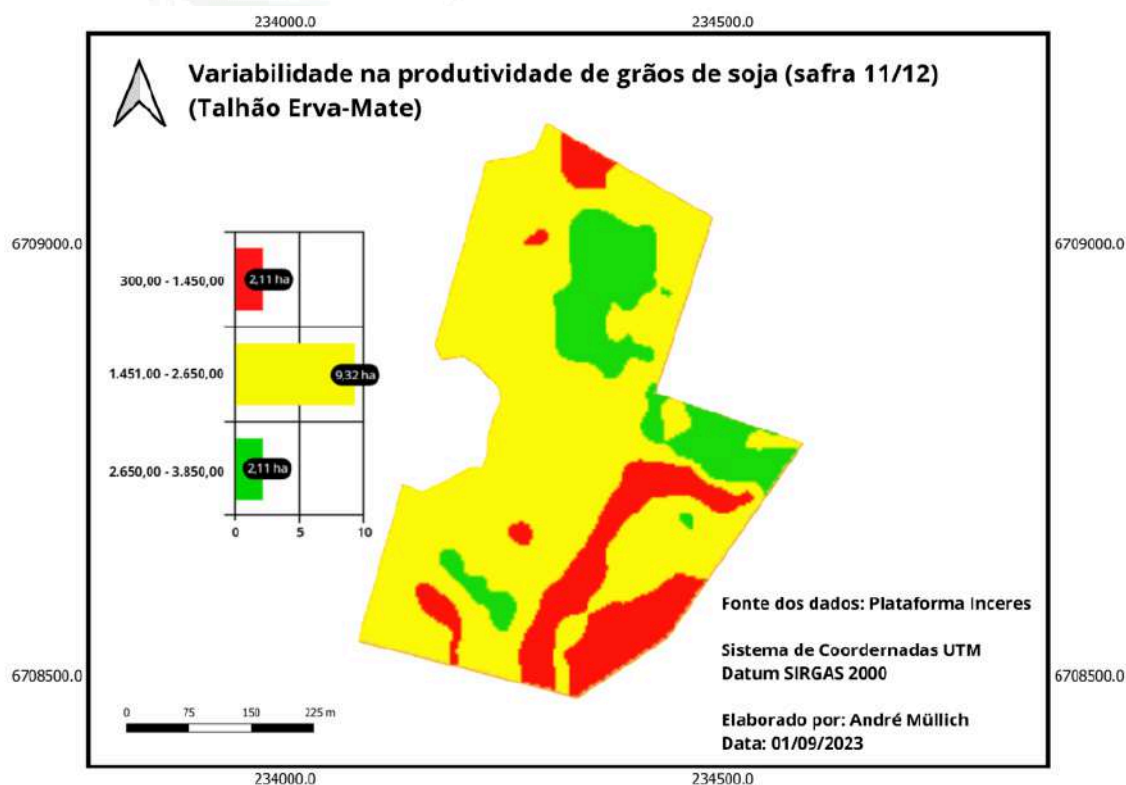
Figura 4 – Histograma de distribuição de frequência da produtividade de soja, registrada pelo sistema de mapeamento da colhedora combinada de grãos, após o processo de filtragem.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

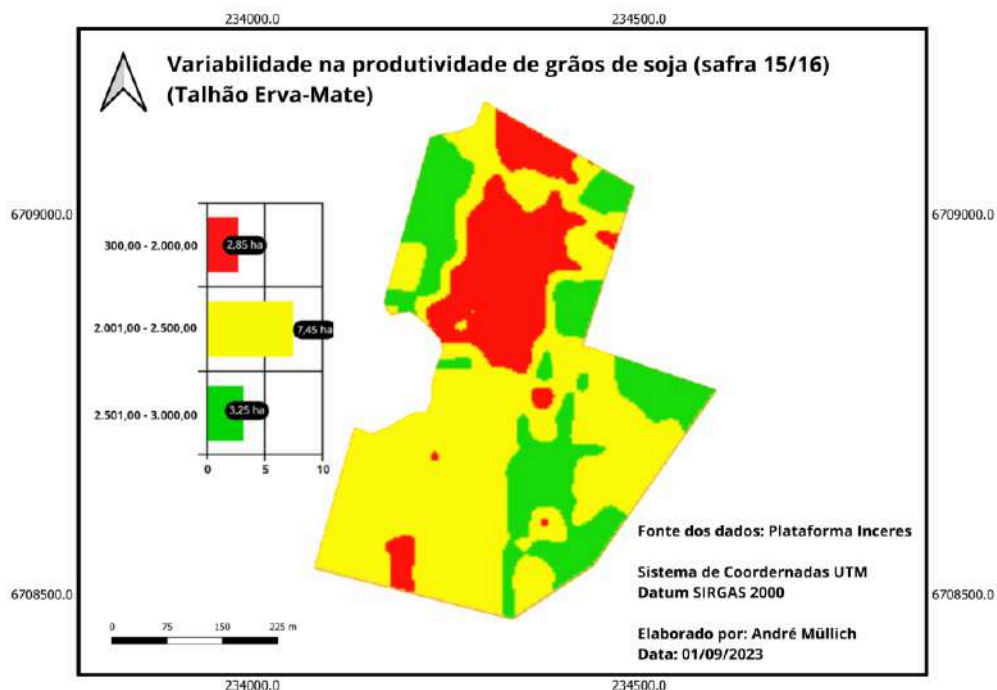
Os mapas de colheita, já com a filtragem de dados, são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5 – Mapa de colheita da safra 2011/2012.



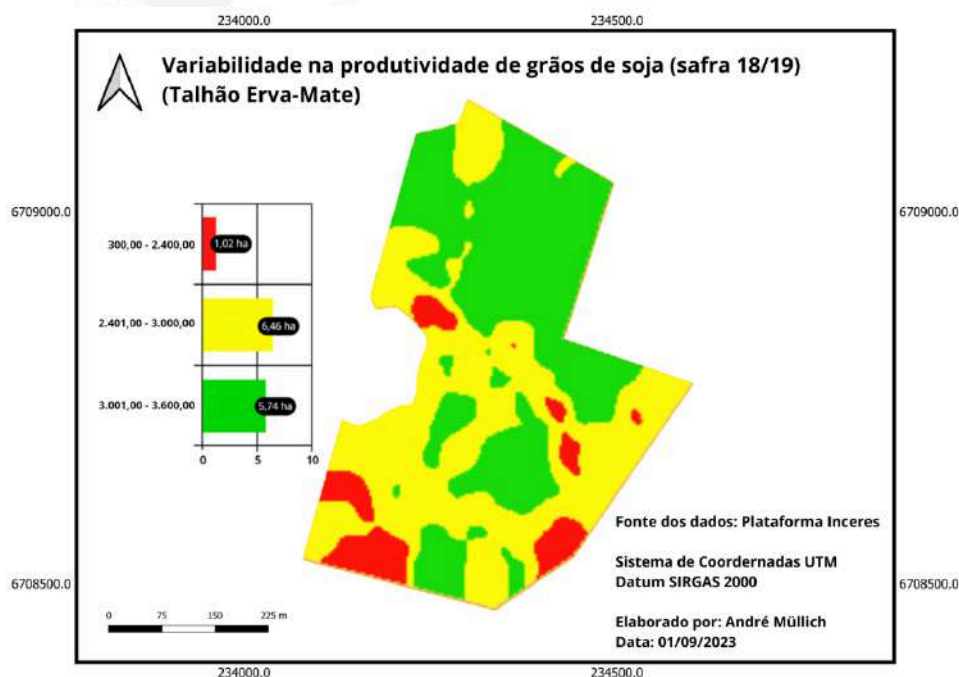
Fonte: Plataforma Inceres (2023).

Figura 6 – Mapa de colheita da safra 2015/2016.



Fonte: Plataforma Inceres (2023).

Figura 7 – Mapa de colheita da safra 2018/2019.



Fonte: Plataforma Inceres (2023).

Na Tabela 1 são apresentados, para cada classe de produtividade (baixa, média e alta) nos diferentes anos estudados (2011/12; 2015/16 e 2018/19), os valores referentes à área (ha), porcentagem da área (%), produtividade de soja (kg ha⁻¹) e a produtividade média de soja (kg ha⁻¹). Com relação às classes de rendimento, na safra 2011/2012, tem-se 16% da área com baixo rendimento, com produtividades de até 1.450 kg ha⁻¹. Em comparação à safra 2018/2019, nota-se

a diminuição do percentual dessa classe em 8%, a qual apresenta produtividades de até 2.400 kg ha⁻¹. A classe de média produtividade teve reduções ao longo das safras, devido ao crescimento da classe de alta produtividade e oscilações da classe de baixa. A classe de alta produtividade, nas safras 2015/2016 e 2018/2019, cresceu, respectivamente, 8% e 27%, comparada à safra 2011/2012.

A maior produtividade da área foi de 3.850 kg/ha, na safra 2011/2012. Porém, foi a safra que apresentou o menor percentual da classe de alta produtividade e maior percentual da classe média produtividade. A safra 2018/2019 foi a que obteve maior percentual da classe de alta produtividade, que somada com a classe média, representou 92% do talhão, com produtividades que variaram de 2.400 a 3.600 kg ha⁻¹. O aumento dessas zonas em rendimento pode ser explicado pelo manejo de adubações à taxa variável realizadas na área ao decorrer dos anos. Resultados semelhantes foram observados por Machado et al., (2004), estudando a utilização de mapas de produtividade como ferramenta para adubação à taxa variada.

Tabela 1 – Dados de colheita da cultura da soja nas safras 2011/2012, 2015/2016, 2018/2019, conforme as classes de produtividade.

Classe	Área (ha)	% da área	Produtividade (kg/ha)	Produtividade média (kg/ha)
Safra 2011/2012				
Baixa Produtividade	2,11	16	300 - 1.450	2.123
Média Produtividade	9,31	68	1.450 - 2.650	
Alta Produtividade	2,11	16	2.650 - 3.850	
Safra 2015/2016				
Baixa Produtividade	2,84	21	300 - 2.000	2.263
Média Produtividade	7,44	55	2.000 - 2.500	
Alta Produtividade	3,25	24	2.500 - 3.000	
Safra 2018/2019				
Baixa Produtividade	1,13	8	300 - 2.400	2.974
Média Produtividade	6,56	49	2.400 - 3.000	
Alta Produtividade	5,84	43	3.000 - 3.600	

A safra 2011/2012 apresentou a menor produtividade média do talhão, com 2.123 kg ha⁻¹, diferente da safra 2018/2019, que apresentou a maior produtividade média das três safras, com 2.974 kg ha⁻¹. A produtividade do talhão na safra 2018/2019, comparada com a de 2011/2012, aumentou em cerca de 40%, passando de 35,3 sacos ha⁻¹ para 49,6 sacos ha⁻¹, o que corresponde a uma diferença de 14,3 sacos ha⁻¹. Percebe-se que no talhão Erva-Mate a safra 2011/2012 apresentou um rendimento de produtividade baixo, com 2.123 kg ha⁻¹, no entanto em todo o estado do RS a produtividade foi baixa, com a média em 1.555 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013).

Trabalhos conduzidos por Molin (2002) demonstraram semelhança na espacialização da produtividade entre duas safras de soja, no ano de 1999 e 2000. Essa semelhança pode ser observada no presente trabalho pelo % da área, na Tabela 1. A classe classificada como “média produtividade” representa o maior percentual da área nas três safras (2011/2012; 2015/2016; 2018/2019), seguidos respectivamente da classe de “alta produtividade” e “baixa produtividade”. Esses resultados demonstram um aumento nas classes de média e alta produtividade, explicados

por decisões gerenciais na lavoura, a qual pode-se otimizar áreas de maior produtividade, isolando-as em unidades de manejo para localizá-las no campo. Por outro lado, também pode-se isolar áreas de baixa produtividade visando manejá-las e reduzi-las ao longo do tempo (MOLIN, 2002). Com a interpretação dos mapas de colheita os fatores de produção podem ser corrigidos ao longo do tempo, tais como: variação do tipo do solo, acidez do solo em locais específicos, deficiência na aplicação de fertilizantes e locais com falta ou excesso de água, potencializando a produtividade do local (CAPELLI, 2009). Diante disso, mostra-se a importância da criação de mapas de produtividade como ferramenta para estabelecer critérios na tomada de decisão, podendo ser eles pela variabilidade espacial e temporal da produtividade, de forma que permita definições estratégicas para atuar na maior parte das áreas alvo.

4. CONCLUSÃO

Evidencia-se que a adoção dos mapas de colheita é uma das estratégias para aumentar a produtividade de um talhão, mas para isso é essencial o conhecimento técnico para usá-los e torná-los aplicáveis. Ao oferecer uma representação visual das variações na produtividade em uma área específica, esses mapas fornecem informações valiosas para os agricultores e gestores agrícolas. Por meio da análise desses dados, é possível identificar padrões de desempenho das culturas, detectar problemas como pragas e doenças, avaliar a eficiência de diferentes práticas de manejo e tomar decisões embasadas para otimizar o rendimento das lavouras. Essa análise baseada em dados está cada vez mais integrada à agricultura de precisão, impulsionando o setor em direção a práticas mais eficientes e responsáveis.

REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde et al. **Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 6, pág. 711-728, 2013.

CAPELLI, N.L. Agricultura de precisão - Novas tecnologias para o processo produtivo. <http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gipap/capelli.doc> (15 de Setembro 2008), In: FILHO, O.G. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos de solo em um sistema de semeadura direta**, Campinas - SP, 2009.

CARVALHO, José Ruy Porto de; ASSAD, Eduardo Delgado; Pinto, Hilton Silveira. **Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude**. Pesquisa Agropecuária Brasileira (1977. Impressa), v. 47, p. 1235-1242, 2012.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira safra 2012/2013**. Brasília, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/gbort/Downloads/Boletim_Graos_julho_2013%20(1).pdf>. Acesso em: 22/09/23.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 97 fls.

JOHANNSEN, C. J.; CARTER, P. G.; ERICKSON, B. J.; MORRIS, D. K.; WILLIS, P.R. **A cornucopia of agricultural applications**. Space Imaging, Thornton, Jan/Fev, p. 22-23, 2000.

MACHADO, P. L. O. A. et al. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja. MACHADO, PLOA; BERNARDI, ACC; SILVA, CA (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 115-129, 2004.

MOLIN, J.P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade.** Eng. Agríc., 22:83-92, 2002.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão.** São Paulo: Oficina de Textos. Acesso em: 02 ago. 2023. 2015.

MOLIN, J.P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade.** Engenharia Agrícola, n. 22, 2002.

PEREIRA, H. S. **Fósforo e Potássio exigem manejos diferenciados.** Visão Agrícola, nº 9, 2009.

R Core Team (2021). **R:** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.



VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA AGRÍCOLA DE SANTA MARIA/RS

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN AGRICULTURAL AREA OF SANTA MARIA/RS

Guilherme Bortolotto da Silva¹; Gian Pribs Bexaira¹; Guilherme Scapin Muniz¹; André Müllich¹;
Luciano Zucuni Pes¹; Ivan Carlos Maldaner¹; Marcelo de Silveira Farias¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima 1000, 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil
guilhermebortolottodasilva@gmail.com; gianbexaira@gmail.com; guilhermesmuniz160@gmail.com;
andre.mullich@hotmail.com; lucianopes@politecnico.ufsm.br; ivan.maldaner@ufsm.br;
marcelo.farias@ufsm.br

RESUMO

Nas lavouras comerciais, a variabilidade dos atributos químicos do solo pode ser explicada pelos diferentes tipos de solo que ocorrem dentro do talhão, variações nas propriedades químicas e físicas, bem como pelas interações que ocorrem entre os atributos. Com a agricultura de precisão é possível identificar essa variabilidade através, por exemplo, dos mapas de fertilidade, que podem auxiliar na tomada de decisão do produtor quanto ao manejo da área. Diante disso, o objetivo deste estudo foi de avaliar a variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo (P, K, pH e saturação por bases), em três anos (2012, 2017 e 2020), em um talhão agrícola localizado em Santa Maria – RS. Concluiu-se, com o estudo, que houve variabilidade espacial e temporal nos atributos químicos avaliados, além do aumento dos teores de P, K e pH ao longo dos anos.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Mapas de fertilidade. Tomada de decisão.

ABSTRACT

In commercial crops, the variability of soil chemical attributes can be explained by the different types of soil that occur within the plot, variations in chemical and physical properties, as well as the interactions that occur between attributes. With precision agriculture it is possible to identify this variability through, for example, fertility maps, which can help the producer make decisions regarding the management of the area. Therefore, the objective of this study was to evaluate the spatial and temporal variability of soil chemical attributes (P, K, pH and base saturation), in three years (2012, 2017 and 2020), in an agricultural plot located in Santa Maria – RS. The study concluded that there was spatial and temporal variability in the chemical attributes evaluated, in addition to an increase in P, K and pH levels over the years.

Keywords: Precision agriculture. Fertility maps. Decision making.

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura, há diversos fatores que influenciam no desenvolvimento das culturas, reduzindo a produtividade e elevando os custos de produção. Dentre esses fatores, destaca-se a fertilidade do solo, o que torna os fertilizantes um dos insumos mais importantes na agricultura moderna (TISDALE et al., 1985). O Brasil é um dos maiores consumidores de fertilizantes no mundo, já que nas últimas décadas o consumo tem crescido em média cerca de 6% ao ano (ANDA, 2014). No entanto, a eficiência na utilização desses insumos é baixa, sendo menos de 50% para o nitrogênio e aproximadamente 40% para o potássio (BALIGAR et al., 2001).

Essa baixa eficiência pode ser explicada devido à ausência de informações detalhadas da área, junto da utilização de formulações de nutrientes e quantidades fixas, que com o passar dos anos podem favorecer um desbalanço no fornecimento dos nutrientes pelas adubações de forma sub ou superdimensionadas (BERNARDI et al., 17). Dessa forma, os cálculos de correção do solo e adubação são baseados em valores médios, a partir da interpretação de uma única análise de solo por gleba, que é retirada de forma convencional. Assim é recomendada a aplicação uniforme

de uma única dose média de fertilizantes em toda a extensão do campo, o que pode gerar perdas econômicas ao produtor, podendo causar também danos ambientais (SPAROVEK e SCHNUG, 2001).

Atualmente, torna-se cada vez mais popular a utilização de mapas de fertilidade do solo. Para isto, deve ser realizada uma amostragem de solo no talhão, a fim de estabelecer a qualidade do solo de maneira precisa (MAPA, 2009). A definição de zonas de manejo dentro da área ocorre através da sua divisão em subáreas, sendo que esse manejo se mostra eficiente para definir a dinâmica da lavoura e, conseqüentemente, a aplicação de insumos de forma localizada (LUCHIARI et al., 2001). Uma das tecnologias da agricultura de precisão mais utilizadas por produtores é o mapeamento das propriedades do solo, através de amostragens georreferenciadas, para a aplicação de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis (BERNARDI et al., 2014).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi de avaliar a variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo, sendo eles os teores de fósforo (P), potássio (K), pH e saturação de bases (V%), em um talhão agrícola localizado em Santa Maria – RS. A hipótese do trabalho é que os teores aumentaram ao longo dos anos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCAL

A área experimental localiza-se na Universidade Federal de Santa Maria, no talhão denominado Erva Mate, que possui área de 13,55 ha, altitude de 95 metros, cujas coordenadas geográficas são: latitude 29°43'49.75" S e longitude 53°45'28.05" O (Figuras 1 e 2). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa – temperado chuvoso e quente, com nenhuma estação seca, úmido o ano todo, com temperatura entre 3 e 18°C no inverno, superior a 22°C a média no verão.

Figura 1 – Localização da área experimental em Santa Maria – RS.



Fonte: Plataforma Inceres (2023).

Figura 2 – Delimitação da área experimental.



Fonte: Plataforma Inceres (2023).

2.2 COLETA DE DADOS

Na agricultura de precisão, a amostragem de solo georreferenciada é uma das ferramentas mais utilizadas por produtores, pois através da divisão da lavoura em pequenos talhões (grids) é possível identificar a variabilidade dos fatores de fertilidade na área. No talhão Erva Mate, a amostragem de solo foi realizada seguindo um grid amostral de 1 ponto por hectare (figura 3), sendo que cada ponto foi composto de 5 sub amostras, da camada 0 a 0,20 m. Essas coletas foram realizadas com um amostrador de solo acoplado a um quadriciclo e posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solos da UFSM.

Figura 3 – Grid amostral utilizado no talhão Erva Mate.



Fonte: Google Earth (2023).

2.3 ANÁLISE E INTERPOLAÇÃO DOS DADOS

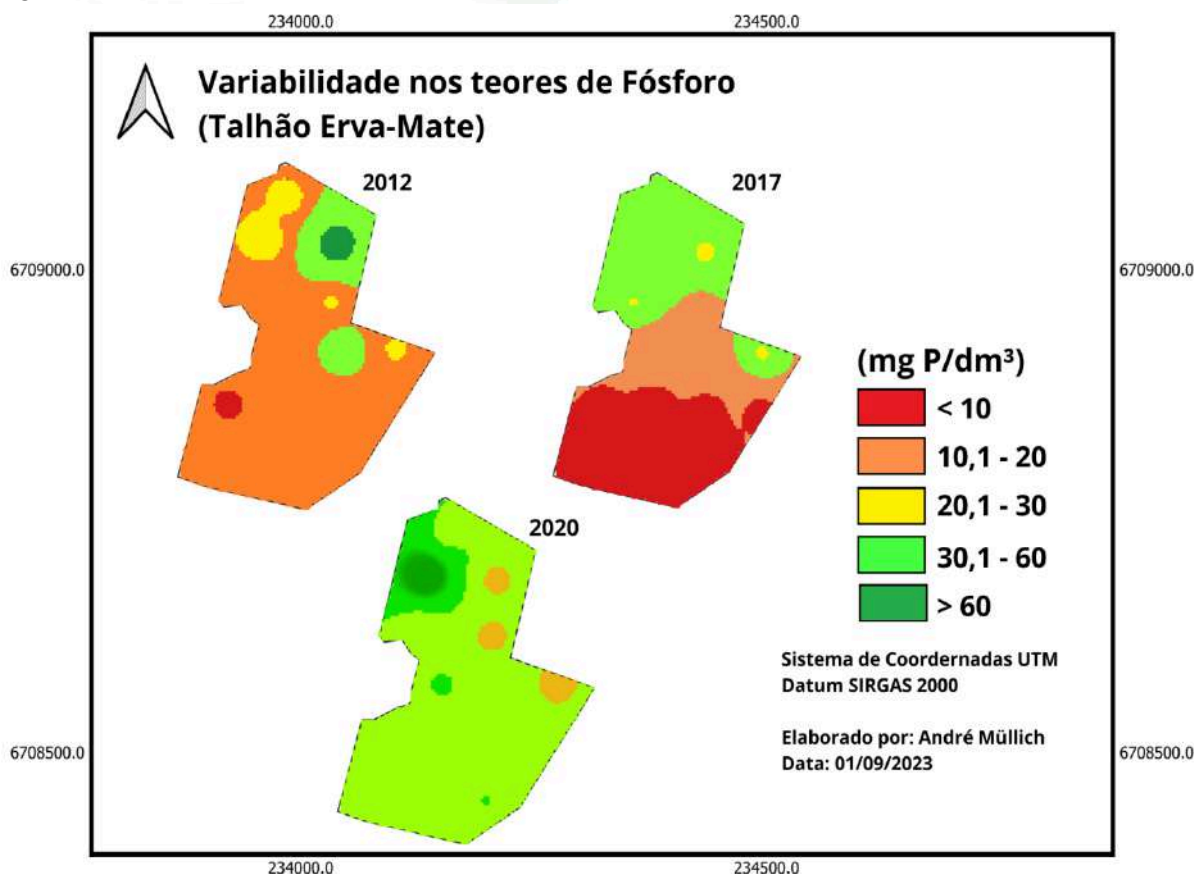
Para análise dos dados, foi utilizado o banco de dados de informações sobre Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da UFSM. Neste banco estão os resultados das amostragens de solo de três diferentes anos (2012, 2017 e 2020), do talhão Erva Mate. Foram analisadas as seguintes variáveis: fósforo (P), potássio (K), potencial hidrogeniônico (pH) e saturação por bases (V%), tendo como base as tabelas de interpretação de resultados do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2016).

Foi empregada a metodologia do inverso do quadrado da distância, utilizando o SmartMap, no software QGIS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos mapas apresentados na Figura 4, percebe-se uma evolução significativa na disponibilidade de P no decorrer dos anos, devido às adubações de correção à taxa variada realizadas, com a utilização de adubos fosfatados. Em 2012, cerca de 47% da área estava com o nível de fósforo classificado como “Baixo”. Já em 2017, 39% do talhão estava com o nível classificado como “Muito Baixo”. Finalmente, em 2020, houve uma mudança abrupta, considerando que 87% da área total do talhão ficou classificada com nível “Alto”.

Figura 4 - Mapas de variabilidade dos teores de fósforo (P), nos anos de 2012, 2017 e 2020.

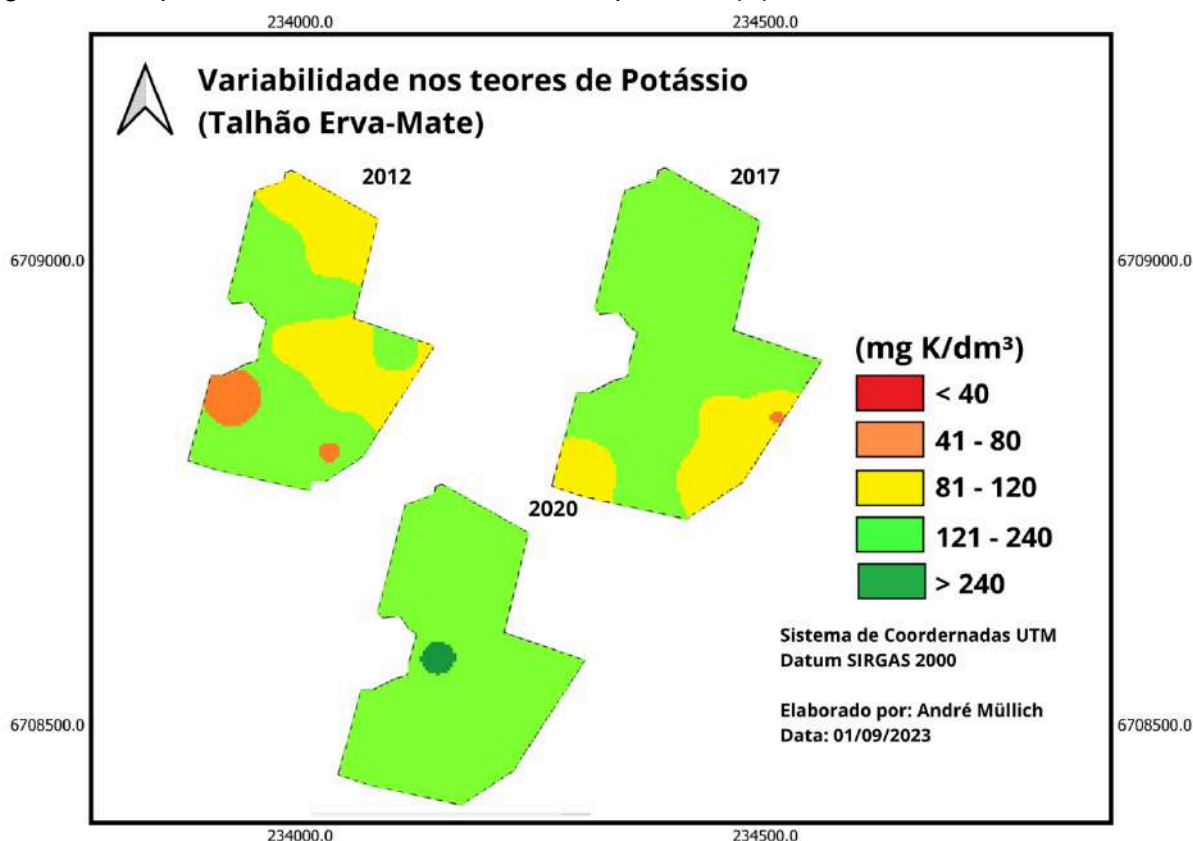


Legenda: Teores de fósforo (P), conforme a classe do teor de argila do solo, segundo o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016). Teores menores que 10 mg/dm³ = “Muito Baixo”; 10,1 a 20 mg/dm³ = “Baixo”; 20,1 a 30 mg/dm³ = “Médio”; 30,1 a 60 mg/dm³ = “Alto”; maiores que 60 mg/dm³ = “Muito Alto”.

Fonte: Autores (2023).

Na Figura 5, onde são apresentados os mapas de K, no ano de 2012, 60% estava com o nível de K classificado como “Médio”. Já em 2017, em torno de 78% do talhão apresentou nível de K classificado como “Alto”. Já em 2020, cerca de 98% da área estava com o nível de K classificado como “Alto”. Dessa forma, nota-se uma evolução significativa nos teores desse elemento de 2012 a 2020.

Figura 5 – Mapas de variabilidade dos teores de potássio (K), nos anos de 2012, 2017 e 2020.

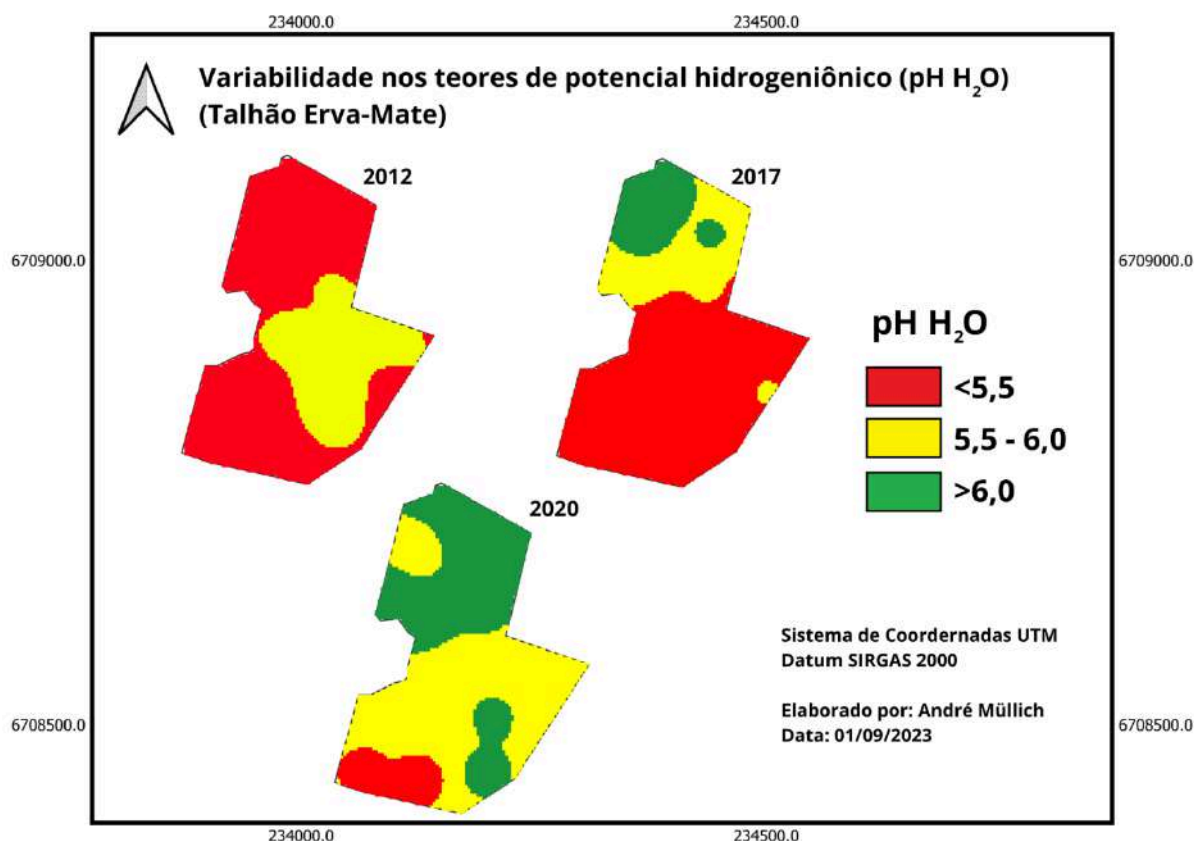


Legenda: Teores de potássio (K), conforme a CTC_{pH7} do solo, segundo o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016). Teores menores que 40 mg/dm³ = “Muito Baixo”; 41 a 80 mg/dm³ = “Baixo”; 81 a 120 mg/dm³ = “Médio”; 121 a 240 mg/dm³ = “Alto”; maiores que 240 = “Muito alto”.

Fonte: Autores (2023).

Na Figura 6, percebe-se visualmente o efeito das correções do pH do solo com as aplicações de calcário em taxa variada ao longo dos anos, quando é comparado o ano de 2020 com os demais. Em 2012, aproximadamente 68% da área possuía pH igual ou inferior a 5,5 e nenhuma parte da área com pH maior que 6. Em 2017, cerca de 65% do talhão estava com o pH menor ou igual a 5,5 e 14% da área com pH maior que 6. Já em 2020, 40% da área apresentou pH maior que 6. É relevante destacar que em 2012 não havia nenhuma parte do talhão com o pH maior que 6, passando para 40% em 2020.

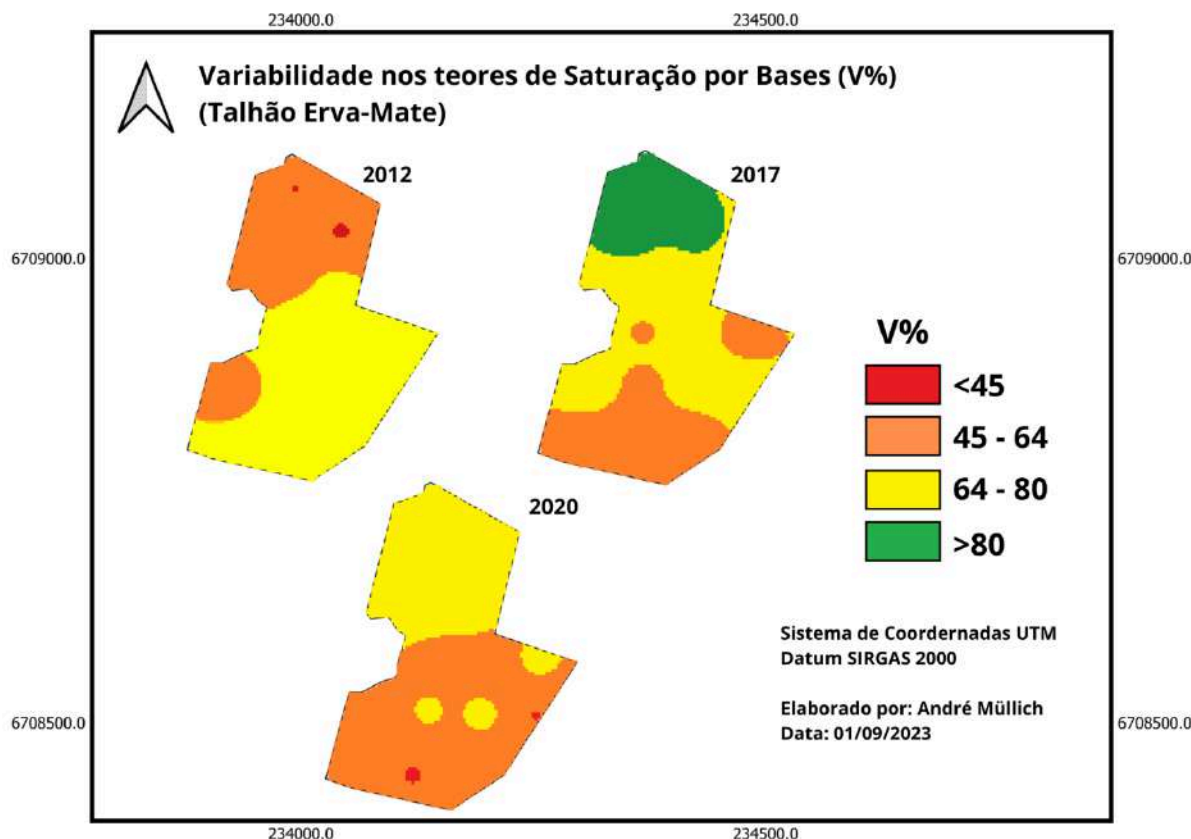
Figura 6 – Mapas de variabilidade dos teores de potencial hidrogeniônico (pH H₂O), nos anos de 2012, 2017 e 2020.



Fonte: Autores (2023).

Na Figura 7, nota-se uma diferença significativa na variabilidade espacial dos teores de V% entre os mapas de fertilidade. No ano de 2012 há uma homogeneidade em praticamente todo o talhão, com teores acima de 45 a 80%, o que não se observa em 2017 e 2020, demonstrando uma maior variabilidade espacial e até mesmo um decréscimo dos teores em partes da área. Em 2012, cerca de 60% da área estava com V% entre 64% e 80%. Em 2017 os valores desta classe reduziram para 46% e, em 2020, para 42%. Entretanto, em 2017, aproximadamente 21% da área estava com saturação por bases maior que 80%. Em resumo, interpreta-se que a saturação por bases não evoluiu com os anos da mesma forma que os outros parâmetros avaliados.

Figura 7 – Mapas de variabilidade dos teores de saturação por bases (V%), nos anos de 2012, 2017 e 2020.



Fonte: Autores (2023).

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que, com a adoção da agricultura de precisão, em especial à utilização de mapas de fertilidade, é possível se identificar a variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo, de forma a tornar mais assertiva a tomada de decisão. O presente trabalho demonstrou a variabilidade espacial de atributos químicos do solo, existente em uma área agrícola, bem como ela evoluiu com o passar dos anos, influenciada pela maneira que o solo foi manejado. Esse manejo, através da aplicação de corretivos e fertilizantes em taxa variada, potencializa a eficiência, a rentabilidade e a sustentabilidade da produção agrícola, minimizando impactos ao meio ambiente. Consequentemente, essas ferramentas desempenham um papel crucial no avanço da agricultura de precisão e, finalmente, impulsionam a produção agrícola, de forma responsável.

REFERÊNCIAS

- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes: 2013**. São Paulo, 2014. 176 p.
- BALIGAR, V. C.; FAGÉRIA, N. K.; HE, Z. L. **Nutrient use efficiency in plants**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 37, p. 921-950, 2001.
- BERNARDI, A. C. C. et al. **Ferramentas de Agricultura de Precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, vol. 32, no. 1/2, 8 Feb. 2017, pp. 211–227. Access 21 Sept. 2023.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; FERREIRA, R. P.; SANTOS, K. E. L.; RABELLO, L. M. INAMASU, R. Y. **Spatial variability of soil properties and yield of an alfalfa pasture under grazing in Brazil.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 12., 2014, Sacramento. Abstracts... New York: ISPA, 2014b. 1 CD-ROM.

LUCHIARI, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON S. **Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE AND OTHER PRECISION RESOURCES MANAGEMENT, 5., 2000, Minneapolis. Proceedings... Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2001. Editores, P. C. Robert, R. H. Rust e W. E. Larson.

SPAROVEK, G.; SCHNUG, E. **Soil tillage and precision agriculture: A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production.** Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 61, n. 1-2, p. 47-54, 2001.

SBCS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de Calagem e Adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** Viçosa, 2016.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil Fertility and Fertilizers.** 4th ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1985.

GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO A PARTIR DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE E DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Generation of management zones from the spatial variability of productivity and electrical conductivity

André Müllich¹; Laura Schott¹, Mariana Freitas¹, Geizeli Röhrs¹, José Cardoso Sobrino², Luciano Zucuni Pes², Ivan Carlos Maldaner², Marcelo de Silveira Farias²

¹Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, andre.mullich@hotmail.com, laurabeatriz033@outlook.com, marirod Freitas@gmail.com, geizelirohrs@gmail.com

² Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, jcardoso@politecnico.ufsm.br, lucianopes@politecnico.ufsm.br, ivan.maldaner@ufsm.br, marcelo.farias@ufsm.br

RESUMO

A agricultura de precisão tem como um dos seus fundamentos o manejo da lavoura respeitando a variabilidade espacial dos principais fatores que determinam o desempenho das culturas. Em decorrência disso, prioriza-se a aplicação de insumos em locais com maior probabilidade de resposta, prática denominada de manejo de sítio-específico. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo definir zonas de manejo a partir da variabilidade espacial da produtividade e da condutividade elétrica aparente do solo. Após a coleta dos dados de produtividade e de condutividade elétrica aparente do solo, foi realizada a combinação das informações, através da sobreposição de camadas de informações (*layers*). O resultado obtido foi adequado para a delimitação das zonas de manejo do talhão estudado, pois elas foram validadas pelo gestor da área, que avaliou como sendo compatível com a realidade que ocorre ao longo dos anos.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Sensores. Indicador qualitativo de solo.

ABSTRACT

Precision agriculture has as one of its foundations the management of crops respecting the spatial variability of the main factors that determine crop performance. As a result, priority is given to applying inputs in places with a greater probability of response, a practice called site-specific management. Therefore, this work aimed to define management zones based on the spatial variability of productivity and apparent electrical conductivity of the soil. After collecting soil productivity and apparent electrical conductivity data, the information was combined by superimposing layers of information. The result obtained was suitable for delimiting the management zones of the studied plot, as they were validated by the area manager, who assessed them as being compatible with the reality that has occurred over the years.

Keywords: Precision agriculture; Sensors; Qualitative soil indicator

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) parte do princípio de que um talhão agrícola é um sistema heterogêneo, ou seja, leva em consideração as diferenças existentes dentro de uma mesma área. A partir do entendimento desta variabilidade é possível direcionar um tratamento mais adequado de práticas agrícolas (adubos, corretivos, herbicidas, inseticidas, entre outros). Este modelo de intervenção denomina-se manejo de sítio específico, cujo principal objetivo consiste em otimizar a eficiência do uso de insumos e aumentar a produtividade de forma sustentável.

Comumente, na agricultura atual, uma mesma área é considerada homogênea em toda sua extensão, mas, conforme Canzian *et al.* (1999), alguns campos podem ser bem uniformes, mas outros podem apresentar variações de solo e, conseqüentemente, de fertilidade, além de

outros fatores que afetam a produção agrícola. Sendo assim, segundo Manzatto *et al.* (1999), a AP consiste em aplicações nos locais e momentos adequados, em quantidade de insumos necessários para a produção agrícola, a fim homogeneizar essas áreas. Atualmente, a adoção de técnicas oriundas da agricultura de precisão tornou-se uma importante ferramenta de gestão das lavouras, como a elaboração de zonas de manejo, que são gerados através de dados coletados ao longo do tempo.

No entanto, é de notório conhecimento que, por mais que se adotem práticas de correções para o aumento da produtividade, ainda é observada a presença de variabilidade no desempenho das culturas implantadas. Isto pode ser explicado pela existência de regiões dentro da área de produção que apresentam características diferentes de difícil alteração ao longo do tempo, tais como: profundidade de horizontes e textura do solo, relevo, capacidade de armazenagem de água, entre outras, o que confirma o motivo dos diferentes potenciais de produtividade, impossibilitando, desta forma, um desempenho vegetal homogêneo no talhão.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo definir zonas de manejo a partir da variabilidade espacial da produtividade e da condutividade elétrica do solo. Em sinergia aos progressos agronômicos sustentáveis, busca-se aperfeiçoar práticas de manejo que proporcionem uma melhor alocação de recursos, priorizando a aplicação de insumos em locais com maior assertividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para entender essa variabilidade e posterior definição das zonas de manejo, um estudo foi realizado em lavoura de culturas anuais de grãos, localizada em Santa Maria (RS), talhão denominado Campo Nativo.

A metodologia deste trabalho consistiu em correlacionar dados que possam apresentar variabilidade espacial e temporal, como por exemplo, a produtividade da cultura da soja e informações de variabilidade espacial de solo de difícil modificação ao longo do tempo, como a condutividade elétrica aparente do solo (CEa).

Os dados de colheita da cultura da soja, safra 2022/2023, foram extraídos de uma colheitadeira Massey Ferguson, modelo 32, equipada com sistema de posicionamento global (GPS) e sensores de produtividade e de umidade (Figura 1.A).

Figura 1 - Colheitadeira MF 32 (A) e VERIS U3 (B) utilizados para coleta dos dados.



Fonte: Autores (2023).

Já as informações de CEa foram obtidas com auxílio de um equipamento VERIS U3 (Stara), na camada de 0 a 20 cm (Figura 1.B). A medida da condutividade elétrica é um produto de fatores tanto estáticos como dinâmicos, que incluem a salinidade do solo, a mineralogia e argila, umidade, resistividade e temperatura (JOHNSON *et al.*, 2003; MOLIN e RABELLO, 2011).

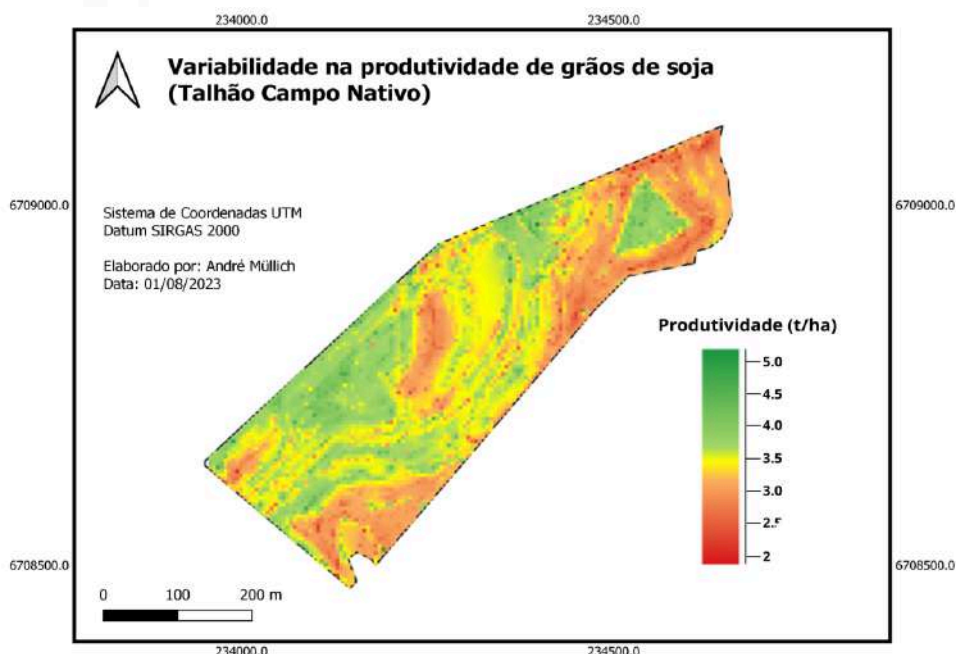
A terceira e última etapa do trabalho foi a combinação dos dois conjuntos de informações (dados de colheita e de condutividade elétrica do solo), sobrepondo as camadas de informações (*layers*), visando estabelecer as zonas de manejo. Este procedimento foi realizado através do *plugin* SmartMap, no *software* Qgis. Este dispositivo realiza análise dos dados através do agrupamento de valores similares dentro de distintas classes (clusters), seguindo uma medida de dissimilaridade, neste caso a distância Euclidiana.

No entanto, é importante destacar que é necessária a realização da filtragem dos dados, por meio de técnicas da geoestatística, para posterior interpolação dos dados, utilizando a ferramenta de krigagem ordinária, com a finalidade de testar a homogeneidade das variâncias e a inexistência de variáveis auto correlacionadas. Para tanto, foi utilizado o *software* RStudio como ferramenta para contornar essas limitações, por meio de ajustes de semivariogramas. Após a interpolação dos dados foi gerado um mapa com as zonas de manejo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme Molin (2000), o mapa temático de produtividade de uma determinada área cultivada é um parâmetro importante para iniciar discussões sobre a variabilidade espacial. Esta ferramenta apresenta um conjunto de vários pontos com suas respectivas coordenadas geográficas e um outro valor atribuído que será o objeto de estudo. Com o mapa temático de produtividade de grãos de soja do talhão Campo Nativo, safra 2022/2023 (Figura 2), é possível identificar regiões com alta, média e baixa produtividade, mas estes valores não explicam necessariamente o que resultou esta variação, que pode ser devido a diversos fatores (Lark e Stafford, 1997).

Figura 2 - Mapa temático da produtividade de grãos de soja, safra 2022/2023, da área do estudo.



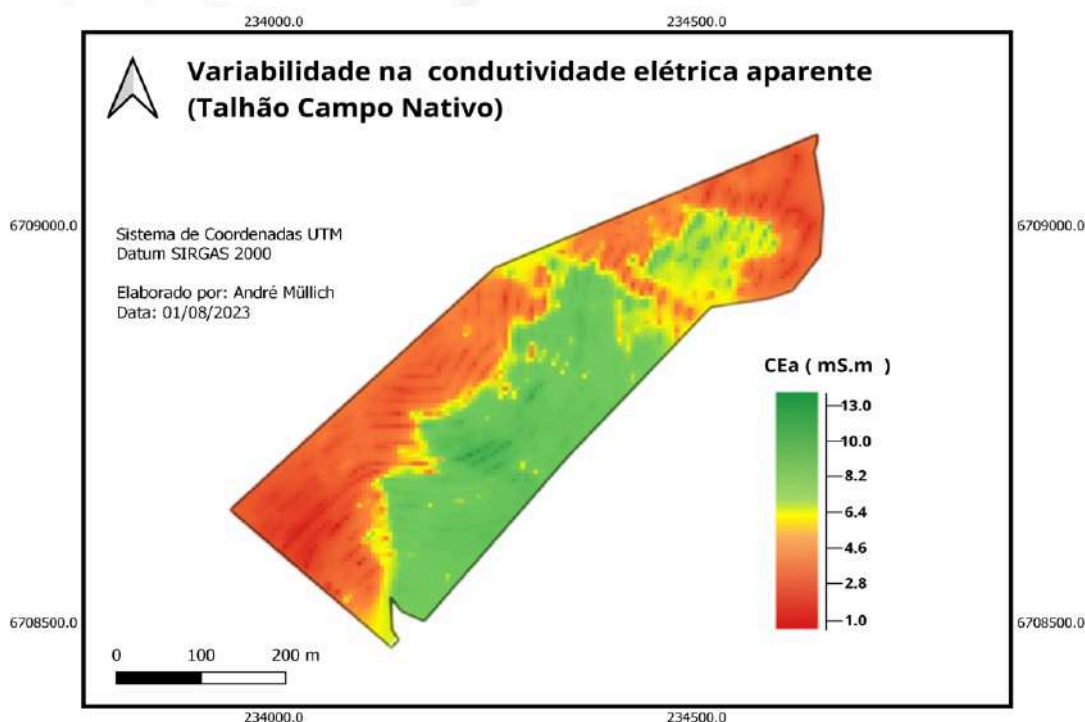
Fonte: Autores (2023).

Esta ferramenta digital só é possível ser quantificada por meio de sensores instalados na colhedora, juntamente com o fornecimento da sua posição com antena GPS e, após a grande quantidade de dados coletados, de forma automática, deve haver a interpretação destes valores, a fim de formar o produto, que é o mapa de produtividade. Os dados brutos exigem cautela ao serem analisados, antes da elaboração de um mapa (MISSOTTEN *et al.*, 1996), pois há erros introduzidos, tanto operacionais quanto na análise de dados de cada ponto. Eles se denominam *outliers* e há necessidade de remoção destes pontos que destoam grosseiramente dos valores reais de produtividade.

Outra ferramenta utilizada na geração de mapeamentos da lavoura é a condutividade elétrica aparente do solo, conceituada como a capacidade que um material tem de conduzir corrente elétrica, uma vez que a variação físico-química de cada solo fornece diferentes níveis para tal. A condutividade elétrica, diretamente ligada aos padrões de rendimento de colheita, tornou-se destaque (CORWIN e LESCH, 2005) na agricultura de precisão, sendo considerado um indicador de características como salinidade, teor de umidade e uma boa relação com a textura e a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, todos fatores de difícil alteração ao longo do tempo.

Neste trabalho, a condutividade elétrica aparente do solo foi avaliada na camada de 0 a 20 cm. O mapa temático é apresentado na Figura 3.

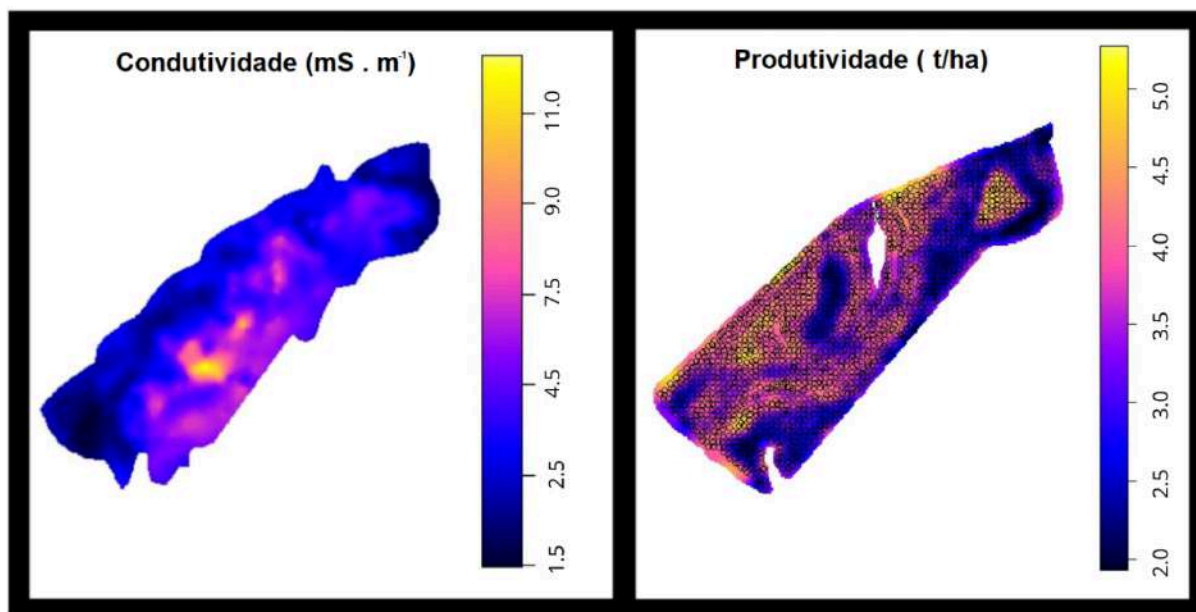
Figura 3 - Mapa temático da condutividade elétrica aparente da área do estudo.



Fonte: Autores (2023).

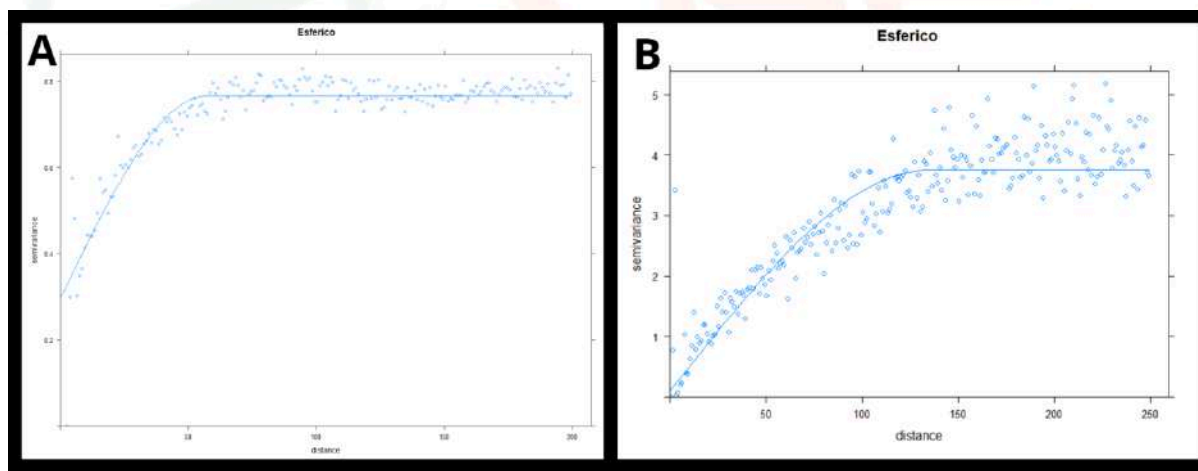
Na Figura 4 são apresentados os mapas gerados após a filtragem dos dados, com auxílio do *software* RStudio. Já na Figura 5 são apresentados os semivariogramas ajustados das variáveis estudadas, também realizados com o RStudio.

Figura 4. Mapas temáticos gerados após filtragem dos dados pelo RStudio.



Fonte: Autores (2023).

Figura 5 - Semivariogramas ajustados das variáveis estudadas (RStudio).

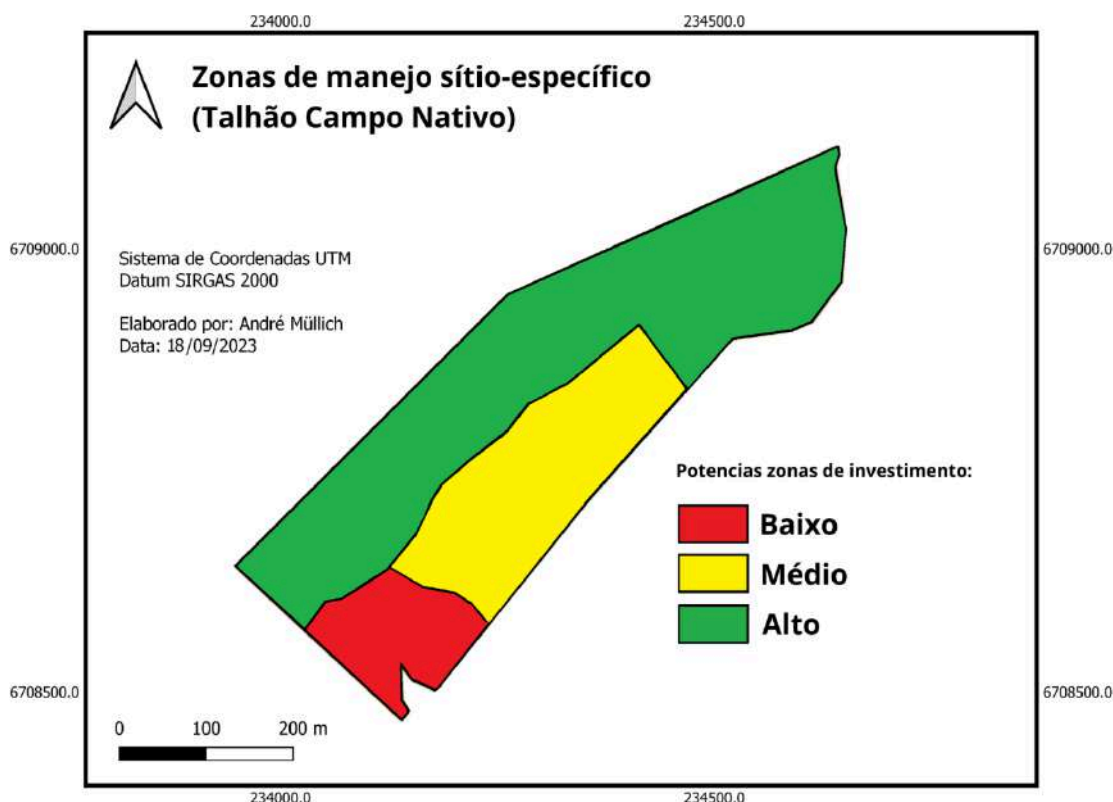


Legenda: A = Produtividade de grãos e B = Condutividade elétrica do solo.

Fonte: Autores (2023).

Após obtenção dos dados e posterior filtragem e análise, foi realizada a última etapa, a sobreposição das camadas (*layers*), através do *plugin* SmartMap, no *software* Qgis. O produto obtido é a definição de 3 classes que simbolizam as zonas de manejo (Figura 6).

Figura 6 - Mapa das zonas de manejo.



Fonte: Autores (2023).

5. CONCLUSÃO

A interpolação das informações coletadas (mapa de colheita e de condutividade elétrica aparente do solo) se mostrou eficiente para a delimitação das zonas de manejo do talhão estudado. As zonas de manejo foram validadas pelo gestor da área, que avaliou como sendo compatível com a realidade que ocorre ao longo dos anos.

Como ferramenta da agricultura de precisão, as zonas de manejo devem buscar diminuir ao máximo as variabilidades internas existentes dentro de cada talhão, identificando as causas que explicam essas diferenças que acabam limitando a produtividade em determinados pontos. Isso pode ser facilitado com a análise dos dados obtidos ao longo das safras, pois assim torna-se mais assertiva a análise e interpretação das informações, a fim de favorecer a gestão e o manejo dos recursos dentro das lavouras.

REFERÊNCIAS

CANZIAN, E.; SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E., et al. **Projeto de um monitor de semeadora com GPS para pesquisa em agricultura de precisão**, 1999. Disponível na Internet. <http://www.pcs.usp.br/~laa/projetos.html>.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. **Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture**. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v.46, p.11-43, 2005.

JOHNSON, C.K., Mortensen, D.A., Wienhold, B.J., Shanahan, J.F., Doran, J.W., 2003. Site-specific management zones based upon soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. Agron. J. 95, 303–315.

LARK, R. M.; STAFFORD, J. V. **Exploratory analysis of yield maps of combine crops**, In: **European Conference On Precision Agriculture**, 1, 1997. Precision Agriculture 97, v.1, Warwick, 1997, p.887-894.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa Solos**. EMBRAPA Solos, 1999. Disponível na Internet. <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html>.

MISSOTTEN, B.; STRUBBE, D.; DE BAERDEMAEKER, J. **Accuracies of grain and straw yield maps**. Agricultural Engineering, St. Joseph, v.9, p.23-26, 1996.

MOLIN, J. P. **Geração e Interpretação de Mapas de Produtividade para Agricultura de precisão**. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/download/CLP%202000.01.PDF>. 2000.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. Engenharia na Agricultura, v. 31, n. 1, p. 90-101. 2011.

VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE RAÍZES EM CINCO ÁREAS AGRÍCOLAS DE SANTA MARIA/RS

Spatial variability of resistance to root penetration in the five agricultural areas of Santa Maria/RS

André Müllich¹; Luiz Felipe Silveira Pavão¹; Kauane Rubert¹; Lucas Moré de Oliveira¹; Luciano Zucuni Pes¹; Ivan Carlos Maldaner¹; Marcelo de Silveira Farias¹

¹ Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, andre.mullich@hotmail.com, felipepavao14@gmail.com, kauanerubert64@gmail.com, lucaslmndo013@gmail.com, lucianopes@politecnico.ufsm.br, ivan.maldaner@ufsm.br, marcelo.farias@ufsm.br

RESUMO

O solo desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das plantas e na agricultura em geral. Suas características físicas, como resistência à penetração de raízes, podem ser usadas para avaliar a estrutura do solo. Essa estrutura pode ser modificada ao longo do tempo, seja para melhor ou pior, por meio de práticas de manejo agrícola. A compactação do solo, que é uma alteração física negativa, tende a ocorrer de forma heterogênea em diferentes partes dos campos, variando em grau e profundidade em um mesmo talhão. O objetivo deste trabalho foi de identificar a variabilidade espacial da resistência à penetração de raízes no solo, em cinco áreas agrícolas de Santa Maria/RS. O presente estudo permitiu a identificação da variabilidade espacial da resistência à penetração de raízes que existe dentro de cada talhão avaliado, proporcionando a adoção de estratégias de manejo específicas para cada talhão.

Palavras-chave: Compactação. Solo. Variabilidade.

ABSTRACT

Soil plays a fundamental role in plant development and agriculture in general. Its physical characteristics, such as resistance to root penetration, can be used to evaluate soil structure. This structure can be modified over time, whether for better or worse, through agricultural management practices. Soil compaction, which is a negative physical change, tends to occur heterogeneously in different parts of fields, varying in degree and depth within the same plot. The objective of this work was to identify the spatial variability of resistance to root penetration into the soil, in five agricultural areas in Santa Maria/RS. The present study allowed the identification of the spatial variability of resistance to root penetration that exists within each plot evaluated, allowing the adoption of specific management strategies for each plot.

Keywords: Compaction. Soil. Variability.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira está passando por uma constante evolução em termos de produção, área de cultivo e produtividade. Segundo dados da CONAB (2023), somente em grãos, o país foi responsável pela produção de 322,8 milhões de toneladas na safra 2022/23, o que representa um crescimento de 18,4% em relação à safra anterior. Ainda, segundo dados da companhia, a área semeada nesta safra foi de 78,5 milhões de hectares, o que representa um aumento de 5,3% em relação à safra anterior.

A busca cada vez maior pela intensificação dos níveis de produção agrícola é algo que já era previsto, pois com as projeções de aumento da população, à nível mundial, torna-se necessário aumentar também a quantidade de alimentos produzidos. O grande entrave, neste

sentido, é que, associado à intensificação da produção, é necessário também fazer o uso correto e otimizado dos recursos de produção, dentre os quais merece destaque o solo.

O solo é a base para o desenvolvimento das plantas e para a realização de qualquer prática agrícola. Os seus principais atributos físicos são: granulometria, densidade, porosidade, resistência à penetração de raízes, velocidade da infiltração da água e estabilidade de agregados e juntos, esses atributos podem permitir a avaliação da estrutura dos solos (AGUIAR, 2008). A estrutura dos solos, por sua vez, pode ser alterada tanto para pior quanto para melhor, através de práticas de manejo realizadas ao longo dos anos.

A alteração da estrutura do solo para pior, normalmente está associada ao uso de práticas de manejo inapropriadas, como a inserção de carga animal excessiva ou trânsito descontrolado de máquinas, que levam o solo à compactação, o que é um problema caracterizado pelo aumento de massa por unidade de volume e pela sua consequente contribuição para a redução linear da macroporosidade do solo (BEUTLER et al., 2005). Uma das principais consequências deste problema é a elevação da resistência do solo à penetração (RP), o que acarreta problemas como a redução do crescimento radicular e a consequente deficiência na disponibilidade de água e nutrientes às plantas, o que normalmente interfere no rendimento das culturas (CHAN et al., 2006).

Por outro lado, a alteração da estrutura dos solos para melhor está relacionada, principalmente, à realização de manejos como o uso de plantas que possuam sistema radicular agressivo e manejos mecanizados. Práticas como o uso de plantas com sistema radicular agressivo, como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), são cada vez mais comuns nos sistemas de produção agrícola, pois além de promoverem melhorias para a estrutura do solo (CUBILLA et al., 2002), formam uma cobertura com capacidade de se decompor rapidamente e reciclar nutrientes (BALBINOT et al., 2014). Em casos mais severos de compactação do solo, torna-se necessário o uso de mecanização agrícola, que apesar de permitir a rápida alteração das características físicas do solo para melhor, apresenta alguns empecilhos, como o alto consumo de combustível, principalmente quando feito em profundidades acentuadas (MACHADO et al., 2015) e o fato de apresentar um efeito apenas temporário para o solo (BUSSCHER et al., 2002).

O fato é que a alteração das características físicas do solo para pior (compactação do solo) normalmente ocorre de maneira heterogênea nos talhões agrícolas, tanto em grau, quanto em profundidade (Figura 1), ou seja, em um determinado talhão, pode haver diferentes graus de compactação.

Figura 1 - Representação da variabilidade da compactação do solo.



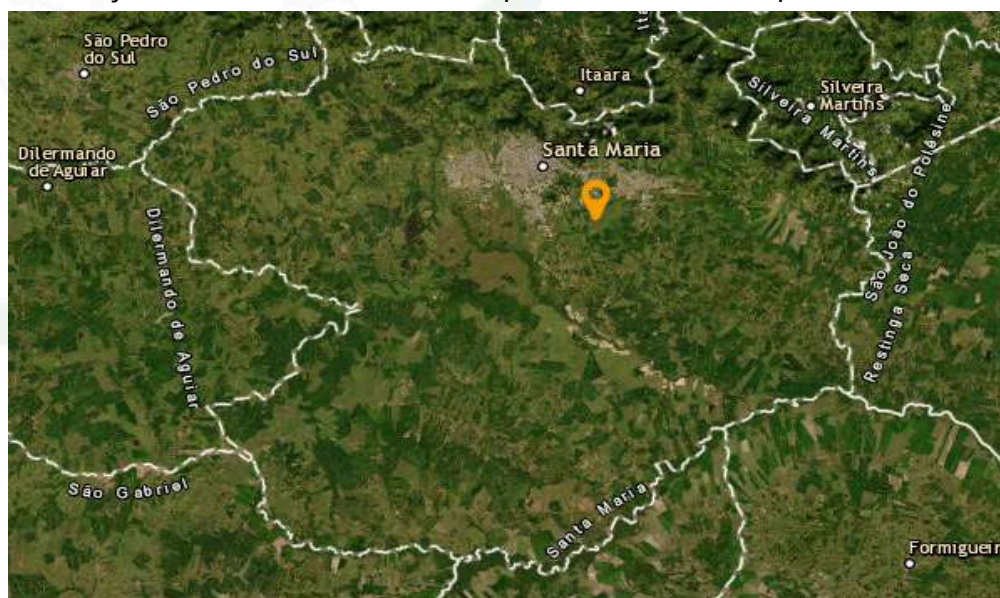
Fonte: Bellinaso; Donzelli (1996).

Na agricultura praticada atualmente, por meio do uso do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), é possível trabalhar com a correção da compactação do solo em áreas específicas do talhão, as quais são previamente definidas por meio de avaliações de RP, uma medida normalmente feita com o uso de um equipamento denominado penetrômetro e que é muito utilizada para indicar o estado de compactação do solo e a probabilidade de redução da produção das culturas (TORMENA et al., 2007; REICHERT et al., 2009). Neste sentido, este trabalho teve como objetivo identificar a variabilidade espacial da resistência à penetração de raízes no solo, em cinco áreas agrícolas de Santa Maria / RS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Santa Maria - RS, na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul (Figura 2). As áreas estão localizadas próximas às coordenadas geográficas latitude 29°72'37" S e longitude de 53°74'97" O e altitude de, aproximadamente, 100 metros. O clima da região é o Cfa, subtropical úmido e com verões quentes, segundo a classificação de Köppen. O solo da área é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado (SANTOS et al., 2018).

Figura 2 - Localização das áreas avaliadas do experimento, no município de Santa Maria (RS).



Fonte: Plataforma Inceres (2023).

O trabalho foi realizado nos talhões denominados: Erva Mate, Campo Nativo, Várzea, Diogo e Taquareira (Figura 3), que possuem áreas de 13,28, 17,64, 8,10, 5,22 e 13,57 ha, respectivamente, totalizando 57,81 ha. A ocupação desses talhões é predominantemente com o cultivo da soja, no período do verão e com o cultivo de plantas de cobertura, no período de inverno. Para a implementação e realização de todos os manejos dessas culturas, são utilizadas máquinas agrícolas de porte médio, todas com eletrônica embarcada e tecnologias modernas da agricultura de precisão.

Figura 3 - Localização dos talhões agrícolas do experimento e seus polígonos limítrofes.



Fonte: Plataforma Falker Map (2023).

Para a realização deste trabalho foi utilizado um penetrômetro eletrônico da marca Falker, modelo penetroLOG PLG2040 (Figura 4). Este equipamento é destinado à Agricultura de Precisão e permite a obtenção de dados precisos relativos à resistência da penetração de raízes, das diferentes camadas de solo a cada centímetro, podendo ir até 60 cm de profundidade. Para este trabalho, foi analisado até 30 cm, profundidade de maior predominância do sistema radicular da cultura da soja (CARDOSO et al., 2006).

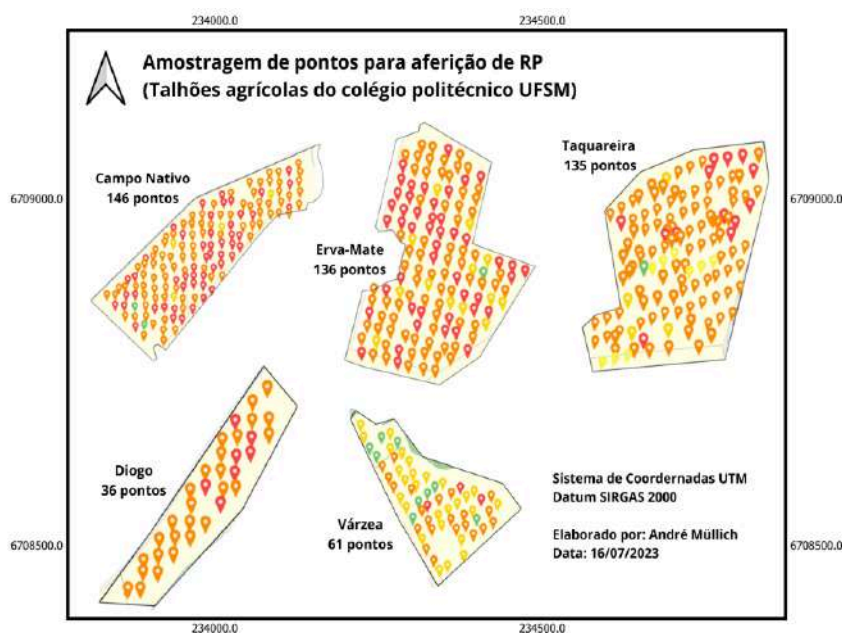
Figura 4 - Realização de amostragem de RP com o penetrômetro Falker, modelo penetroLOG PLG2040.



Fonte: Autores (2023).

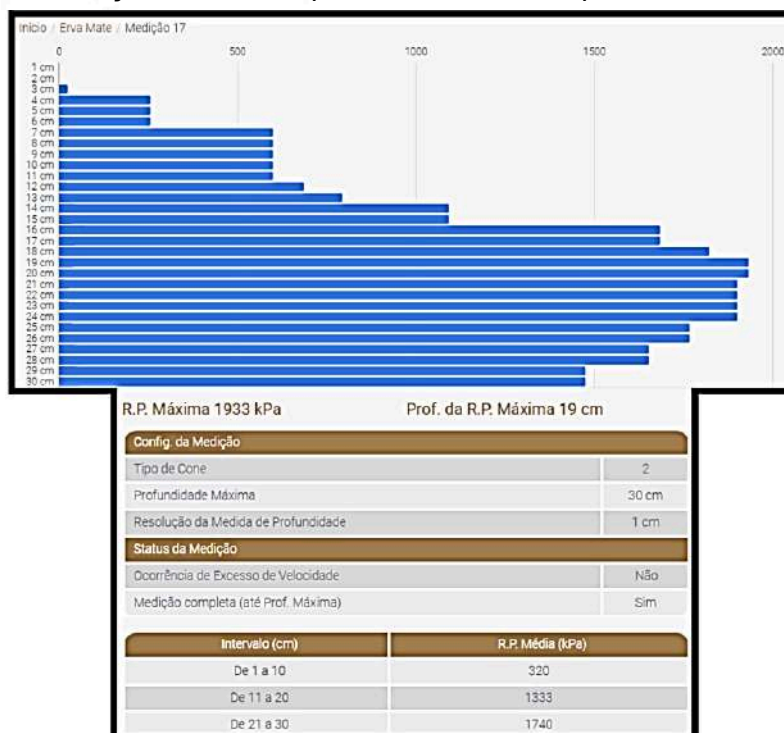
Para efetuar as coletas dentro do talhão, foi gerado um grid amostral de 10 pontos por hectare, utilizando o aplicativo gratuito denominado “Amostragem de Solo”, que possibilita georreferenciar cada local de coleta (Figura 5). Ao final do trabalho, os arquivos foram importados para a plataforma Falker Compact, onde foi possível visualizar a RP de cada ponto amostral dos talhões (Figura 6).

Figura 5 - Pontos marcados para efetuar as coletas a campo.



Fonte: Autores (2023).

Figura 6 - Visualização da RP dos pontos coletados na plataforma Falker Compact.



Fonte: Plataforma Falker Compact (2023).

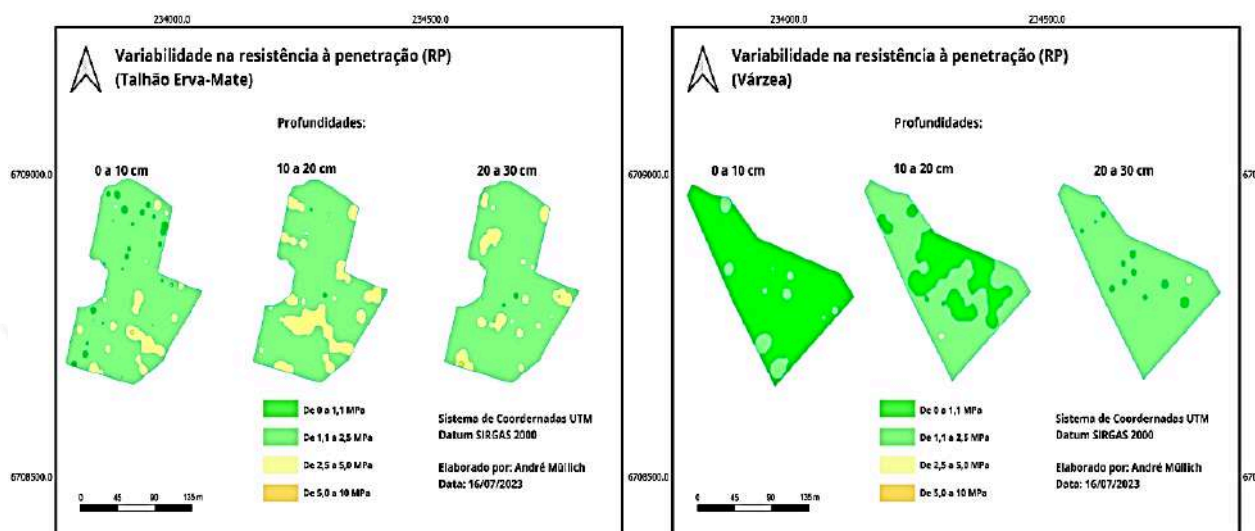
A próxima etapa consistiu em exportar os dados salvos na nuvem de armazenamento da plataforma Falker Compact para o Falker Map, outra plataforma digital, para realizar o diagnóstico de RP, por meio de mapas temáticos. Nesta etapa foi gerado o limite dos talhões, para possibilitar a interpolação dos dados dentro de cada talhão

Para efetuar a análise da variabilidade espacial das diferentes RP, em uma mesma área, foi necessário realizar a interpolação dos dados por método geoestatístico, através da krigagem ordinária. Isto é realizado através de cálculos, seguindo uma medida de dissimilaridade (vizinho próximo). Neste caso foi calculada a distância Euclidiana, aumentando a confiabilidade dessas representações, por meio de uma otimização da integridade dos dados. Após este processo foi possível visualizar as áreas homogêneas de mesmo valor de RP, conforme seleção de classificação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

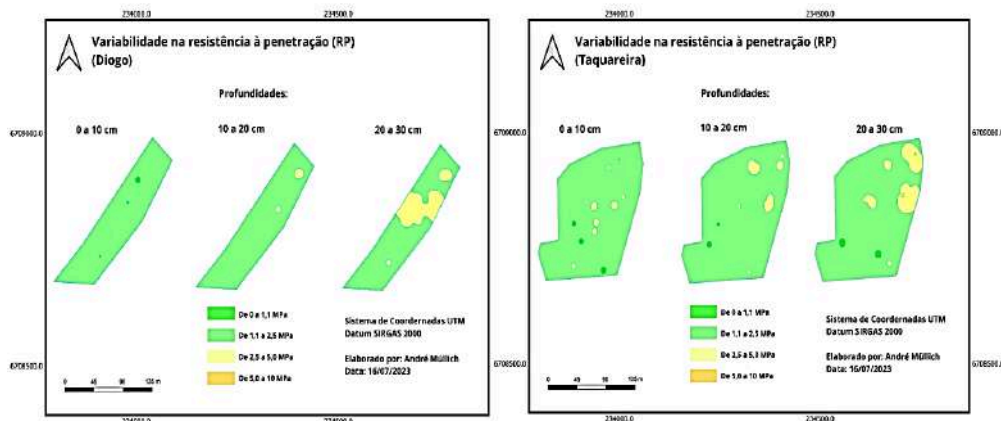
Os mapas temáticos de RP apresentados nas Figuras 7, 8 e 9 demonstram a variabilidade espacial desse atributo físico do solo nos diferentes talhões, sendo representada pela diferença de coloração em cada mapa.

Figura 7 - Variabilidade da RP nos talhões Erva Mate e Várzea.



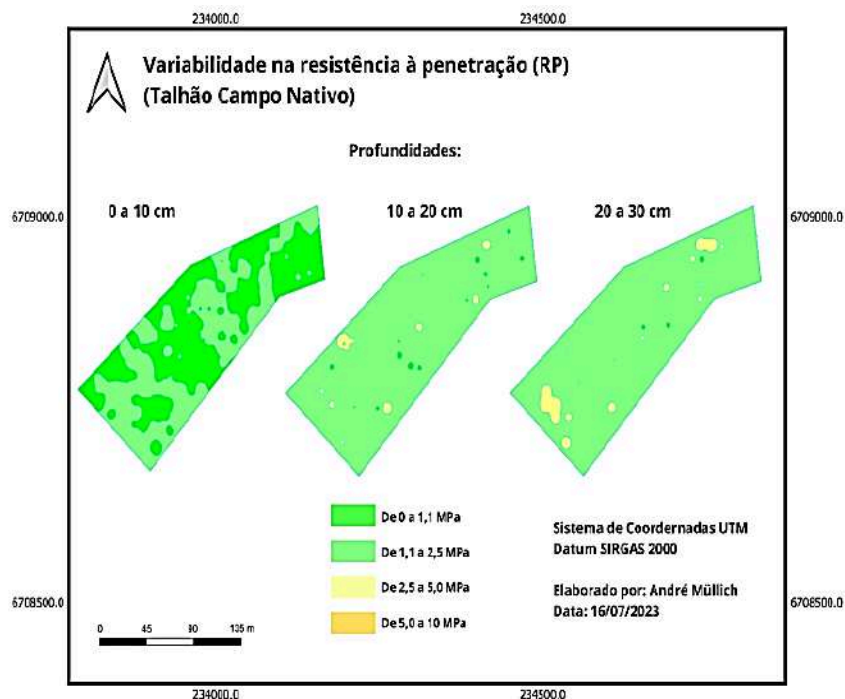
Fonte: Autores (2023).

Figura 8 - Variabilidade da RP nos talhões Diogo e Taquaireira.



Fonte: Autores (2023).

Figura 9 - Variabilidade da RP no talhão Campo Nativo.



Fonte: Autores (2023).

De acordo Sá (2005), tem sido considerado como limitante ao crescimento radicular valores a partir de 2,0 MPa para culturas anuais. Portanto, para essa perspectiva, foram avaliadas as condições descritas a seguir: Para camadas de 0 a 10 cm, os talhões Campo Nativo e Várzea apresentaram os melhores resultados de RP em comparação com as demais áreas. Na profundidade de 10 a 20 cm, o talhão denominado Erva Mate apresentou 20% de sua área com RP de 2 MPa, em comparação aos demais talhões, que obtiveram números inferiores a 5%.

Vale destacar que no talhão Campo Nativo houve manejo de escarificação com subsolador dois meses antes da realização deste estudo, evidenciando, portanto, boas condições de desenvolvimento radicular. Na camada de 20 a 30 cm, o talhão Erva Mate e Taquareira apresentaram 18% e 7% de sua área, respectivamente, com RP entre 2,5 e 5 MPa, enquanto os demais talhões apresentaram mais de 90% de suas áreas com RP entre 1,1 e 2,5 MPa, o que evidencia que a maior parte da área se encontra em condições de RP próximas ao ideal, até o momento.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu identificar a variabilidade espacial de RP que existe dentro de cada talhão avaliado, possibilitando, desta forma, a adoção de estratégias de manejo específicas, de forma a aperfeiçoar as áreas de produção, otimizando recursos e diferentes estratégias de intervenção.

Ademais, com o presente estudo, tem-se como meta de médio e longo prazo, a continuidade desta linha de pesquisa, que será direcionada para a avaliação semestral de problemas de resistência à penetração de raízes e posterior intervenção, com objetivo de minimizar e até mesmo eliminar este problema das áreas estudadas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 91p. Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV, 2008.

BALBINOT, M. *et al.* Uso de plantas de cobertura e cobertura morta em pomar de pessegueiro. In: CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS: PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO DE PARAGUAY, 3., 2014, San Lorenzo - Paraguay. **Anais [...]**. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Asunción, p. 73-74.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 843-849, 2005.

BELLINASSO, I.F. *et al.* **Relatório Projeto de Compactação do solo**. RTP N° 731 - Centro de Tecnologia Canavieira. 1996.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil Till.** v. 68, p. 49-57, 2002.

CARDOSO, E. G. *et al.* Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41(3), 493-501, 2006.

CHAN, K. Y. *et al.* Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. **Soil Tillage Research**, v. 89, p. 13-21, 2006.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira - Grãos: 11º Levantamento de grãos - Safra 2022/23**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023.

CUBILLA, M.; REINERT, D.J.; AITA, C.; REICHERT, J.M. **Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto**. **Revista Plantio Direto**, v. 71, p. 29-32, 2002.

MACHADO, T. M. *et al.* Estimativa de gasto energético da operação de subsolagem em profundidades variáveis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 19, n. 11, p. 1121-1125, 2015.

REICHERT, J. M. *et al.* Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

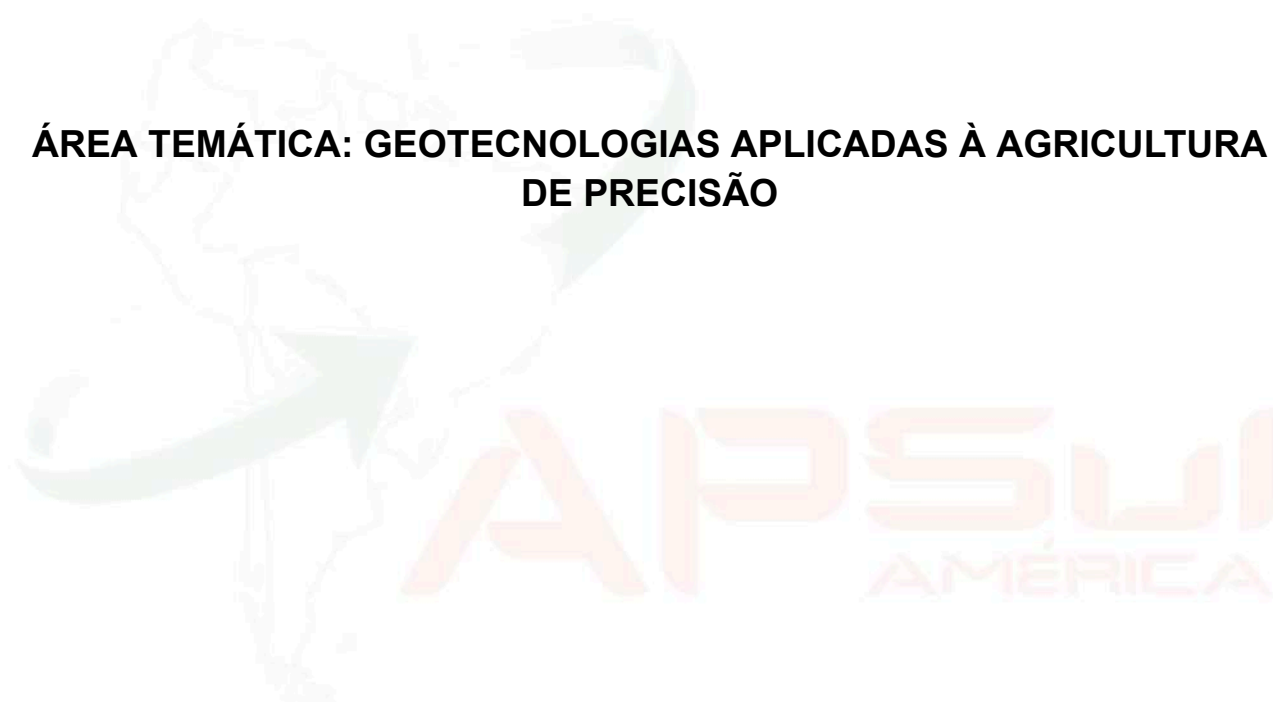
SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de solos.** Brasília, Embrapa Solos. 356p. 2018.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Compactação do solo:** consequências para o crescimento vegetal. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005.

TORMENA, C. A. *et al.* Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 211- 219, 2007.



ÁREA TEMÁTICA: GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À AGRICULTURA DE PRECISÃO



RESPOSTA DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO RELACIONADOS A PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO A PARTIR DA AMOSTRAGEM POR ZONAS DE MANEJO

Characterization of soil physical and chemical attributes and productivity of irrigated rice from sampling by management zones

Luis Felipe Baranzelli¹; Zanandra Boff de Oliveira²; Eduardo Leonel Bottega²; Pedro Trevisan Hamann²; Ricardo Braga da Rosa¹; Gustavo Henrique Aguiar Alves¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Rod. Taufik Germano nº 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, luis2felipe5baranzelli@gmail.com, _gustavo_henriqueaa@hotmail.com, ricardobrosa@hotmail.com.

² Universidade Federal de Santa Maria, Programa De Pós-Graduação Em Agricultura De Precisão Colégio Politécnico - Prédio 70, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil, zanandraboff@gmail.com, eduardo.bottega@ufsm.br, pthamann@gmail.com.

RESUMO

O arroz é um dos alimentos mais consumido e cultivado no mundo. No Brasil, a região Sul é a maior produtora. Mesmo assim, a produtividade muda bastante nas lavouras devido a alguns fatores, como a variabilidade dos atributos físico-químicos do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a caracterização de atributos físico-químicos do solo relacionados à produtividade do arroz irrigado a partir de amostragem por zonas de manejo (ZM) em uma área de várzea no município de Cachoeira do Sul-RS. O estudo foi realizado em uma lavoura comercial de 50 hectares, com grid amostral de 1 hectare para a caracterização da condutividade elétrica do solo (CEa), análise química e densidade do solo. As ZM foram delimitadas a partir da variabilidade da CEa utilizando o plugin Smart-Map no software QGIS. Os valores dos atributos físico-químicos foram submetidos ao teste de Tukey. Foi possível delimitar quatro ZM que apresentaram variabilidade em relação a sete atributos químicos do solo, a densidade do solo e ao teor de argila. As zonas de manejo mais produtivas, possuíam menores teores de argila, alumínio e densidade do solo, podendo-se estabelecer relações entre estes atributos e a produtividade.

Palavras-chave: Variabilidade. Condutividade elétrica. Argila

ABSTRACT

Rice is one of the most consumed and cultivated foods in the world. In Brazil, the South region is the largest producer. Even so, productivity changes a lot in activities due to some factors, such as the variability of the physical-chemical attributes of the soil. The objective of the work was to evaluate the characterization of physical-chemical soil attributes related to irrigated rice productivity based on sampling by management zones (MZ) in a floodplain area in the municipality of Cachoeira do Sul-RS. The study was carried out on a 50-hectare commercial farm, with a 1-hectare sampling grid to characterize soil electrical conductivity (ECa), chemical analysis and soil density. The MZs were delimited based on the CEa variability using the Smart-Map plugin in the QGIS software. The values of the physicochemical attributes were subjected to the Tukey test. It was possible to delimit four ZM that presented variability in relation to seven chemical attributes of the soil, soil density and clay content. The most productive management zones had lower levels of clay, aluminum, and soil density, making it possible to establish relationships between these attributes and productivity.

Keywords: Variability. Electric conductivity. Clay.

1. INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais consumidos no mundo, sendo cultivado em todos os continentes desempenhando um papel econômico e social. Por ser um alimento nutritivo, faz parte da dieta alimentar da maioria da população mundial, e considerado um alimento capaz de combater a fome no mundo (EMBRAPA, 2021). No Brasil, o cultivo na região sul do país, é responsável por produzir mais de 83% do total da produção nacional (CONAB, 2023). Dentre os estados destaca-se o Rio Grande do Sul, com o cultivo concentrado na metade sul do estado, produziu 8.523.527 toneladas de arroz (IRGA, 2021), na safra 2020/21, se consolidando como uma das regiões mais produtivas de arroz no mundo.

Apesar do grande destaque regional, ainda é possível aumentar a produtividade, devido à grande variação da produtividade dentro das lavouras. Segundo Chung et al. (2000) o rendimento máximo do arroz foi mais que o dobro do rendimento mínimo em uma mesma lavoura. Neste contexto, a agricultura de precisão (Ap) pode ser uma importante ferramenta de manejo, visto que, ela se apresenta como um conjunto de tecnologias que promovem melhorias na gestão e na produção, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal dos elementos que influenciam na produtividade das lavouras (INÁCIO; CORTEZ, 2023).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo, com a finalidade de sensoriamento da área, é parte essencial da agricultura de precisão (BOTTEGA et al., 2015). Conhecê-los é de fundamental importância para determinação do manejo a ser adotado, além do fato de que tal informação pode explicar variações nas produtividades das culturas, uma vez que os mapas ilustram essa variabilidade espacial (GELAIN et al., 2021).

Para caracterizar a variação espacial dos atributos do solo. Pode ser realizada a caracterização da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo, visto que este processo além de ser fácil, rápido e confiável, também explica a variabilidade da produtividade agrícola e das propriedades físico-químicas do solo (BOTTEGA et al., 2015).

Zonas de manejo (ZM) são subdivisões da área em glebas com potencial produtivo, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental, homogêneas (LUCCHIARI et al., 2000). Considerando a CEa, as ZM serão regiões do campo de produção com valores de CEa semelhantes. Em estudo conduzido por Machado et al. (2006), os valores de CEa estavam relacionados com os teores de argila no solo, sendo possível o estabelecimento das ZM a partir da CEa. Bernardi et al. (2015) compararam amostragens tradicionais de solo com sensor CEa para mapeamento do solo e determinação de zonas de manejo, e constataram que com o sensor CEa foi possível cobrir de forma muito mais detalhada a área de estudo.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a caracterização de atributos físico-químicos do solo relacionados à produtividade do arroz irrigado a partir de amostragem por ZM.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no ano agrícola 2022-2023, em lavoura comercial de arroz em sistema de cultivo mínimo, com terreno sistematizado em taipas. A área está localizada no distrito de Capané em Cachoeira do Sul/RS (30,45 S, 53,19°O). O solo predominante na região é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, unidade Vacacaí (STRECK, et al., 2008). As características de solos e relevo da região beneficiam a irrigação por inundação, contribuindo para que as áreas possuam excelente aptidão ao cultivo do arroz. Quanto ao clima, é classificado por Köppen como subtropical úmido - Cfa.

O talhão avaliado possui 50 hectares, no qual foi alocado um grid amostral com densidade de 1 ponto por hectare, perfazendo 50 pontos amostrados (Figura 1). Em cada ponto amostral foi medida a condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m^{-1}) e retiradas amostras de solo, a partir de quatro subamostras por ponto (Figura 1), para caracterização de rotina laboratorial. Os dados foram coletados antes da semeadura da cultura do arroz.

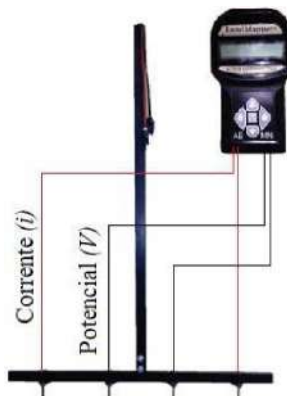
Figura 1 – Talhão de estudos e grid amostral.



Fonte: Autores (2023)

A CEa foi mensurada pelo método da resistividade elétrica. Foi introduzido no solo quatro eletrodos igualmente espaçados horizontalmente em 0,20 m, objetivando, assim, medir a CEa representativa da camada de solo de 0,0 – 0,20 m. A configuração e montagem dos eletrodos foi feita com base na matriz de Wenner (CORWIN; HEDRICKX, 2002; CORWIN; LESH, 2003). Para as leituras de CEa foi utilizado um medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02. A matriz Wenner foi constituída de uma armação em formato de “T”, com tubos de metalon, parafusos de aço (eletrodos) e fios flexíveis de cores diferentes. Os fios vermelhos foram conectados aos eletrodos de corrente e os fios pretos aos eletrodos de potencial. Para garantir confiabilidade nas leituras, o contato dos parafusos com a armação de metalon foi devidamente isolado, sendo estes, revestidos com mangueira de PVC. Na Figura 2 são apresentados o medidor portátil e a matriz, com os eletrodos.

Figura 2 – Matriz de Wenner e medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02. *Imagem ilustrativa, sem escala.



Fonte: Adaptado de BOTTEGA et al. (2022)

Para calcular a CEa, foram utilizadas as equações propostas por Corwin e Hedrickx (2002) e Corwin e Lesh (2003). A resistividade obtida utilizando a Matriz de Wenner foi calculada pela Equação 1.

$$\rho = \frac{2\pi a \Delta V}{i} \quad (1)$$

Onde: ρ = Resistividade, Ohm m⁻¹; a = Espaçamento entre eletrodos, m; ΔV = Diferença de potencial medida, V; i = Corrente elétrica aplicada, A.

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) representa o inverso da resistividade, sendo calculada utilizando a Equação 2.

$$CEa = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Em que: CEa = Condutividade elétrica aparente do solo, mS m⁻¹

No momento das leituras de CEa, foi realizado a estimativa da umidade volumétrica do solo por um conjunto FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific), constituído por sensores com duas hastes, também foram realizadas as coletas de solo com estrutura deformada com o auxílio de um trado calador e com estrutura preservada, ambas abrangendo a camada de 0 a 20 cm de profundidade do perfil do solo, para análise química do solo e análise de densidade do solo, respectivamente. A análise química foi realizada no laboratório do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e a análise de densidade foi realizada no laboratório da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul.

No talhão foi semeado a cultivar IRGA 424 RI. A semeadura ocorreu no dia 08/11/2022 na densidade de semeadura de 80 kg ha⁻¹, todos os manejos seguiram as recomendações agrônomicas da cultura, as quais foram realizadas pelo produtor rural. A colheita do arroz foi realizada no dia 13/03/2023 em onze pontos localizados dentro da lavoura, distribuídos em função das ZM delimitadas previamente, sendo colhidas três repetições de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²) em cada ponto. As plantas de arroz foram processadas manualmente (debulhadas) e a umidade corrigida a 13%, sendo os valores obtidos em kg parcela⁻¹ extrapolados para kg ha⁻¹.

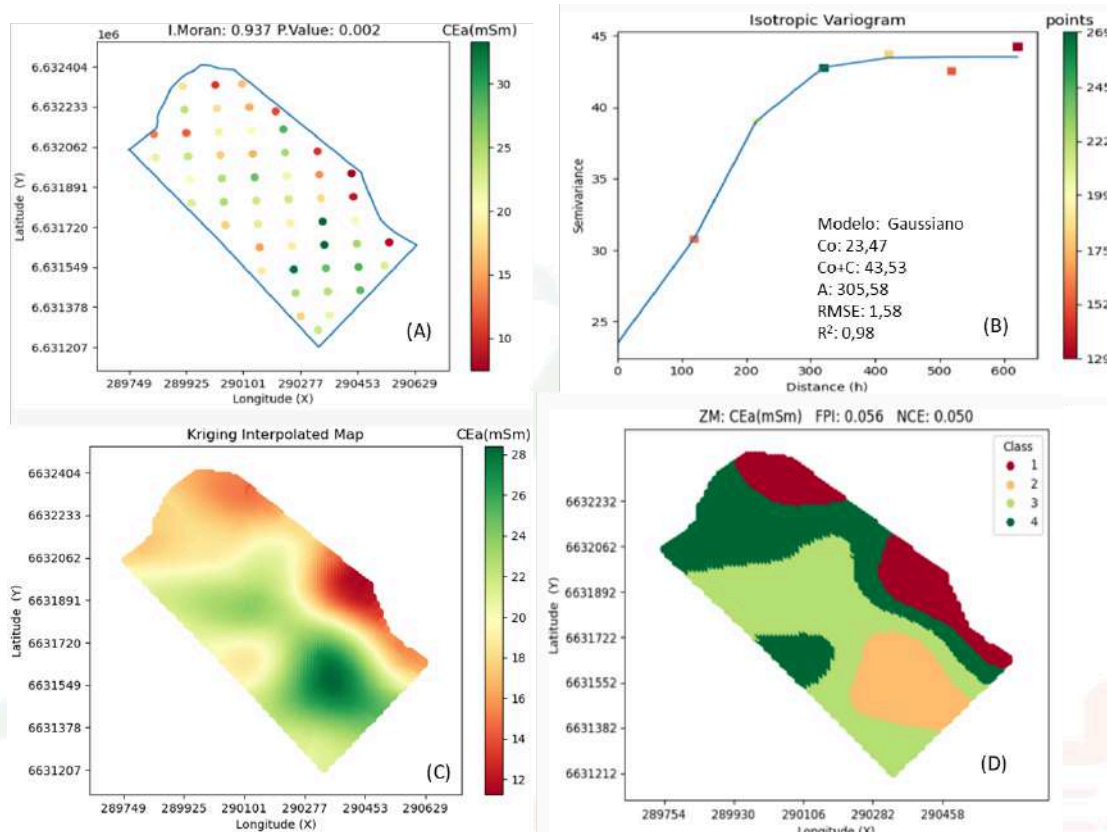
Após estruturado o banco de dados, procedeu-se às análises estatística e geoestatística. Na análise estatística calculou-se o valor médio, valor máximo, valor mínimo, desvio padrão, análise de variância (teste F) e teste de médias Tukey (p<0,05). A análise geoestatística foi empregada para modelar a dependência espacial da CEa, estimar valores de CEa em locais não amostrados e delimitar as ZM.

Na análise estatística, empregou-se o programa computacional Sisvar. A análise geoestatística foi realizada utilizando o plugin Smart-Map (PEREIRA et al., 2022) no software QGIS versão 3.10.1. Calculou-se o Índice de Moran (I) univariado (P.Value<0,05 para 999 permutações), para a autocorrelação espacial significativa, indicativo da existência de variabilidade espacial. Após, foi ajustado e validado o semivariograma, a fim de caracterizar a variabilidade espacial dos dados. Depois de ajustado e validado o modelo, foi realizada a interpolação dos valores para predição em locais não amostrados. O método de validação adotado foi o da validação cruzada e a interpolação de valores foi realizada por krigagem ordinária. Além disso, utilizando o mesmo plugin foram delimitadas ZM. O Smart-Map possibilita a interpolação dos dados utilizando Krigagem Ordinária e técnicas de *Machine Learning* por meio do *Support Vector Machine* (SVM).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variabilidade espacial da CEa no talhão e as 4 classes ZM de manejo geradas a partir deste atributo estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3 – Índice de Moran (A); Semivariograma Isotrópico (B); Mapa temático da variabilidade espacial da CEa (C) e Mapa temático das zonas de manejo (D).



Fonte: Autores (2023)

Os valores médios, máximos e mínimos dos atributos físico-químicos do solo estão apresentados na Tabela 1. Dentre os 22 atributos analisados, alguns apresentaram valores próximos, com pequenas diferenças entre os pontos analisados, não sendo significativos para determinar diferenças entre as ZM. Entretanto, outros como o teor de argila, a densidade do solo e a concentração de potássio, por exemplo, observou-se amplitude entre os valores em função da localização geográfica do ponto amostral onde o solo foi coletado, evidenciando a existência de variabilidade desses atributos no solo.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dos atributos físico-químicos que apresentaram diferenças estatísticas entre as ZM. A ZM classe 1, apresentou o menor teor de argila, seguida da ZM classe 4, ambas apresentaram os menores teores de saturação por Al. Para os demais atributos (Tabela 2) a ZM classe 1 obteve baixos teores quando comparados com as demais ZM, entretanto, foi onde a produtividade do arroz foi mais elevada. A ZM classe 3 possui altos teores de Al, alta relação Ca/Mg, e alta densidade do solo, com os demais atributos baixos, e uma alta produtividade intermediária entre a ZM classe 1 e classe 4. Já, a ZM classe 2, apresentou os maiores valores para todos os atributos físico-químicos analisados, e uma produtividade significativamente inferior às demais ZM.

Tabela 1 – Valores encontrados para os atributos físico-químicos do solo analisados e produtividade do arroz.

Variáveis	Valor médio	Valor máximo	Valor mínimo	Desvio padrão
Argila (%)	39,5	59,0	16,0	8,8
pH H ₂ O	5,1	5,4	4,6	0,2
Índice SMP	5,6	6,4	5,2	0,2
P (mg dm ⁻³)	7,7	14,7	4,2	2,2
K (mg/dm ³)	76,2	155,0	42,0	22,9
M.O. (%)	1,8	2,6	0,7	0,3
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,6	1,1	0,2	0,2
Ca (cmol _c dm ⁻³)	11,2	29,7	3,4	3,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	5,6	16,0	1,9	1,9
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	8,5	78,1	2,9	10,1
CTC efetiva	17,6	46,7	5,9	5,6
CTC PH 7,0	24,1	52,9	8,3	6,1
Sat. Al (%)	3,6	7,5	1,2	1,6
Sat. Bases (%)	70,0	87,2	55,9	6,4
Sat. K (%)	0,8	1,3	0,5	0,2
Ca/Mg	2,0	2,4	1,7	0,1
Ca/K	58,7	85,0	31,8	13,3
Mg/K	29,5	42,4	18,0	6,3
CEa (mS m ⁻¹)	20,5	33,3	7,4	6,4
Umidade volumétrica (cm ³ cm ⁻³)	0,4	0,6	0,2	0,1
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,61	1,72	1,52	0,08
Produtividade (kg ha ⁻¹)	14820,99	18146,44	9657,66	3223,34

Fonte: Autores (2023)

Tabela 2 – Análise da variância dos atributos físico-químicos e da produtividade do arroz em função das zonas de manejo.

Variável	ZM Classe 1		ZM Classe 2		ZM Classe 3		ZM Classe 4	
CEa (mS m ⁻¹)	11,70		29,25		22,63		18,14	
K (mg/dm ³)	66,00	b*	109,5	a	79,74	b	63,76	b
Al (cmol _c /dm ³)	0,38	b	0,66	a	0,65	a	0,59	ab
Ca (cmol _c /dm ³)	8,36	b	17,98	a	11,31	b	9,89	b
Mg (cmol _c /dm ³)	4,4	b	8,72	a	5,7	b	4,9	b
CTC efetiva	13,31	b	27,65	a	17,88	b	15,55	b
Sat. Bases (%)	68,49	b	77,17	a	71,3	b	66,92	b
Ca/Mg	1,87	b	2,12	a	1,98	ab	1,99	ab
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,52	b	1,72	a	1,63	ab	1,55	b
Argila (%)	27,43	c	54,17	a	40,68	b	37,18	b
Produtividade (kg ha ⁻¹)	18146,44	a	9657,66	b	15005,27	a	16153,62	a

Legenda: *números comparam as zonas de manejo para um mesmo atributo pelo teste de “Tukey” em nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autores (2023)

Destaca-se que as ZM Classe 1, 3 e 4 apresentaram os menores valores de K, Ca, Mg, CTC efetiva, saturação por bases, densidade do solo e teor de argila, entretanto apresentaram as maiores produtividades. Diferente da ZM classe 2 que apresentou os maiores valores para os mesmos atributos e a menor produtividade. Quanto aos teores de argila e densidade do solo, percebe-se que para os menores teores de argila, a densidade do solo também foi menor. Estes

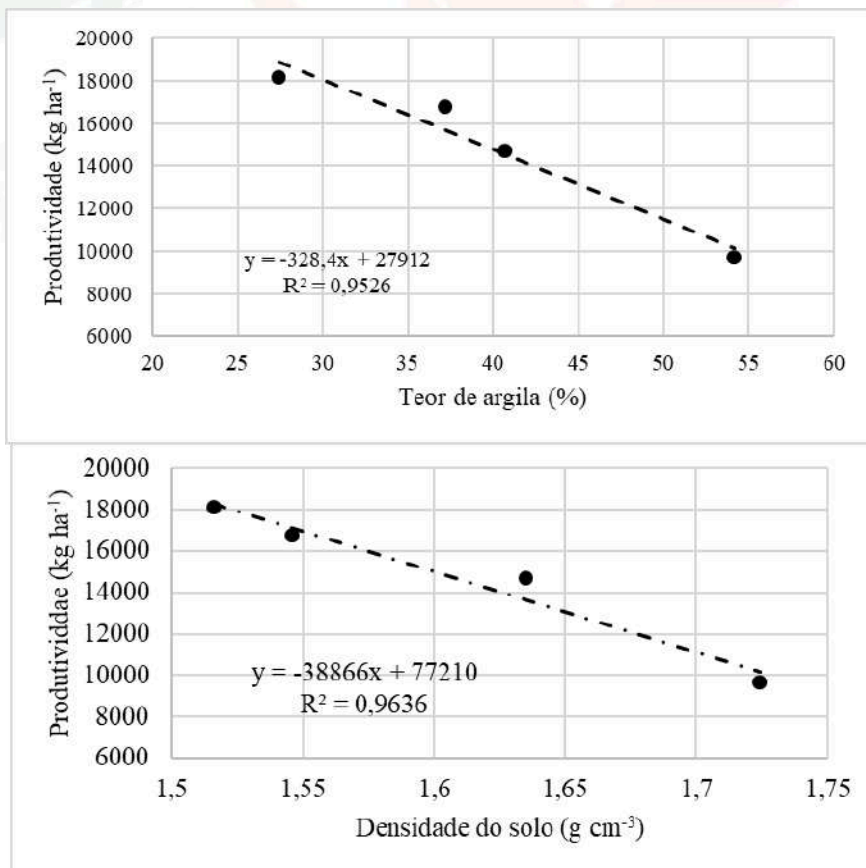
valores foram diferentes dos resultados obtidos por Munareto et al. (2010) que encontrou que à medida que a densidade do solo diminui os teores de argila aumentaram, evidenciando uma relação inversa entre estes atributos físicos do solo, em um Neossolo Regolítico eutrófico utilizado para o cultivo de arroz irrigado na fronteira oeste do Rio Grande do Sul.

Ao avaliar as relações entre a produtividade e os atributos físico-químicos do solo percebe-se que as ZM com os menores teores de alumínio alcançaram as maiores produtividades, mostrando efeitos negativos causados pela toxicidade de alumínio nas plantas. Segundo Vasconcelos et al. (2002) apesar de existirem algumas cultivares de arroz tolerantes ao alumínio, a sua presença reduz a elongação radicular e área radicular efetiva, afetando diretamente a capacidade de absorção de nutrientes pela planta, comprometendo todo o desenvolvimento da cultura, e consequentemente reduzindo produtividade das plantas.

O teor de argila e a densidade do solo, também, foram fatores que interagiram inversamente com a produtividade. Para ambos os atributos, à medida que seus valores diminuíram a produtividade aumentou em uma relação inversa linear, como pode ser visto na Figura 4. Tal resultado pode estar relacionado a dinâmica da água no solo e os impactos desta no estabelecimento de plantas na área, que impacta diretamente em um dos componentes de produtividade do arroz (plantas área⁻¹).

O período de estabelecimento das culturas, é um período crítico que interfere diretamente no potencial produtivo das lavouras demonstrado na Figura 5 para ZM Classe 1 (a) e ZM Classe 2 (b). É perceptível a diferença na quantidade de plantas entre as ZM, enquanto a ZM classe 1 praticamente cobriu todo o solo, já ZM classe 2 mostra grande parte do solo descoberto, tendo menor densidade de plantas e por consequência menor produtividade (Tabela 2).

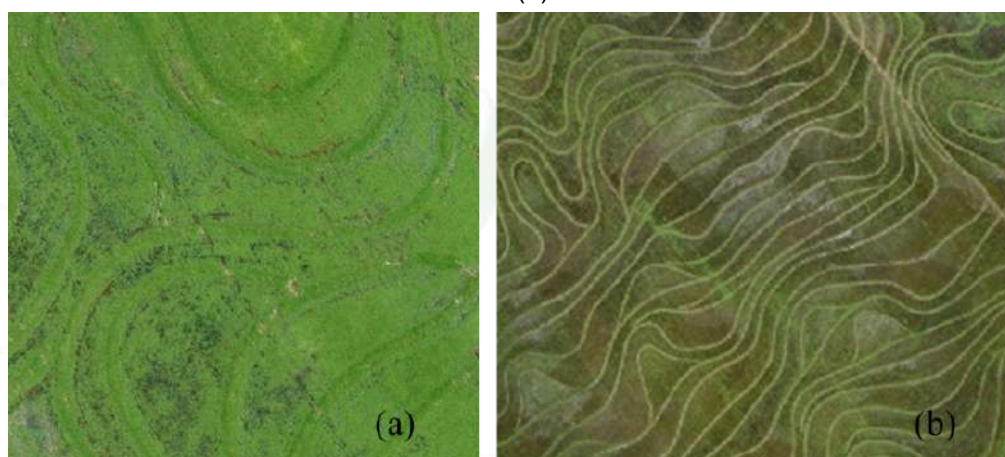
Figura 4 – Relação da produtividade com o teor de argila e densidade do solo



Fonte: Autores (2023)

A maioria dos solos argilosos, devido a sua estrutura física, possuem baixa condutividade hidráulica, sendo necessário mais tempo para a água umedecer o solo, além disso, a densidade do solo interfere diretamente na sua porosidade, quanto mais denso, menor é a porosidade, condição que dificulta a drenagem da água (MESQUITA; MORAES, 2004). Estes fatores somados, reduzem a velocidade da infiltração da água no solo, reduzindo a velocidade de avanço da água no talhão. Com isso pode ter ocorrido déficit hídrico nas áreas que ainda não foram inundadas, reduzindo a emergência das plantas e consequentemente a densidade de plantas na lavoura, o que pode ter influenciado nos resultados apresentados neste estudo.

Figura 5 – Imagem aérea do talhão na fase de estabelecimento inicial da cultura, ZM classe(a) 1; ZM classe 2(b).



Fonte: Autores (2023)

4. CONCLUSÃO

A delimitação de ZM a partir da CEa permitiu identificar significativa variabilidade dos atributos físico-químicos do solo e da produtividade do arroz. As maiores produtividades ocorreram nas ZM com menores teores de alumínio, argila e menor densidade do solo, sendo possível estabelecer relações inversas entre estes atributos e a produtividade da cultura.

Um menor estabelecimento de plantas por área na ZM classe 2 (mais argilosa), atribuído a pior condição de umidade do solo nesta fase do ciclo em função também da condição de um maior adensamento, reduziu a produtividade do arroz nesta ZM em comparação às demais.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 32, n. 1/2, p.205-221, 2015.

BOTTEGA, E.L.; SAFANELLI, J.L.; ZERAATPISHEH, M.; AMADO, T.J.C.; QUEIROZ, D.M.D.; OLIVEIRA, Z.B.D. Site-Specific Management Zones Delineation Based on Apparent Soil Electrical Conductivity in Two Contrasting Fields of Southern Brazil. **Agronomy**, 2022, 12, 1390. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061390>

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Correlação entre condutividade elétrica aparente e atributos químicos e físicos de um Latossolo. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 2, p.134-142, 2015.

CHUNG, S.O.; SUNG, J.H.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T.; HYUN, B.K. Spatial variability of yield, chlorophyll content, and soil properties in a Korean rice paddy field. **Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, Minnesota, EUA, 16-19 de julho de 2000**. Sociedade Americana de Agronomia, 2000. p. 1-14.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 10, décimo levantamento, julho. 2023.

CORWIN, D.L.; HENDRICKX, J.M.H. Electrical Resistivity: Wenner Array. In: SILVA, J.S. Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods, Madison, Wisconsin, **USA: SSSA Book Series**, n. 5, p.1282-1287. 2002

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. **Agronomy Journal**, v.95, n. 3, p. 455-471. 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Cultivo do Arroz**, 2021.

INACIO, K. A.; CORTEZ, J. W. Variabilidade espacial da produtividade da soja e sua correlação com atributos químicos e textura do solo. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. e03226-e03226, 2023.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. **Produtividades municipais - safra 2020/2021**. Porto Alegre, IRGA: 2021.

GELAIN, E., BOTTEGA, E.L., MOTOMIYA, A.V.A., OLIVEIRA, Z.B.D. **Variabilidade espacial e correlação dos atributos do solo com produtividade do milho e da soja**. *Nativa*, v. 9, n. 5, p. 536-543, 2021. DOI: 10.31413/nativa.v9i5.11717.

LUCCHIARI JR, A. SHANAHAN, J., LIEBIG, M., SCHELEMMER, M., SCHEPERS, J.S., FRANCIS, D., PAYTON, S. Estratégias para estabelecer zonas de manejo para manejo de nutrientes específicos do local. **Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, Minnesota, EUA, 16-19 de julho de 2000**. Sociedade Americana de Agronomia, 2000. p. 1-10.

MACHADO, P. L. O. D. A., BERNARDI, A. C. D. C., VALENCIA, L. I. O., MOLIN, J. P., GIMENEZ, L. M., SILVA, C. A., MEIRELLES, M. S. P. Electrical conductivity mapping in relation to clay of a Ferralsol under no tillage system (In Portuguese). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41, 1023-1031. 2006

MESQUITA, M.G.B.F., MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, p. 963-969, 2004.

MUNARETO, J. D., BEUTLER A.N., RAMÃO, C.J., DIAS, N.P., RAMOS, P.V., POZZEBOM, B.C., ALBERTO, C.M., HERNANDES, G.C. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1499-1506, 2010.

PEREIRA, G.W., VALENTE, D.S.M., QUEIROZ D.M., COELHO, A.L.F., COSTA, M.M., GRIFT, T. Smart-map: An open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1350, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>

STRECK, E. V., KÄMPF, N., DALMOLIN, R. S., KLAMT, E., NASCIMENTO, P. D., SCHNEIDER, P., Pinto, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER-RS, UFRGS, 2008. 222 p

VASCONCELOS, S.S., PEREYRA, R.O.R., JACOB-NETO, J. Parâmetros morfológicos para estabelecer tolerância diferencial à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 357-363, 2002.

ENHANCING PRECISION: REAL-TIME IMAGE-BASED WEED SEMANTIC SEGMENTATION IN SOY PLANTATIONS

Aumentando a precisão: segmentação semântica de ervas daninhas em plantações de soja baseada em imagens em tempo real

Raul Steinmetz¹; Henrique Liesenfield Krever¹; Vinicius Kaster Marini¹; Celio Trois¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil, CEP: 97105-900, rsteinmetz@inf.ufsm.br, hkcrever@inf.ufsm.br, vinicius.marini@ufsm.br, trois@inf.ufsm.br

ABSTRACT

Cultural monitoring plays a pivotal role in plantations where weed species are prevalent. Alongside initial eradication endeavors, continuous monitoring proves indispensable in restraining weed proliferation throughout the crop's maturation process. The principal objective of this study is to explore the potential of convolutional neural networks (CNNs) in accurately detecting and mapping the presence of weeds at diverse stages of plantation growth, utilizing high-resolution image data captured from a camera positioned approximately 1 meter above the ground. To enhance precision, the study focuses on achieving semantic segmentation of *Cynodon dactylon* (grassy) and *Amaranthus hybridus* (Caruru) weeds, as well as *Glycine max* (soy) crops. The investigation was conducted at Federal University of Santa Maria, yielding a highly robust real-time weed detection system. This system demonstrated swift segmentation capabilities (31.7 ms per image) and achieved a semantic segmentation loss error of 1.0026 (for a 600 x 600 pixel image). It proficiently identified both weeds and soy, precisely discerning their size and configuration, thereby offering a pragmatic and efficient solution for effective weed monitoring.

Keywords: Crop Semantic Segmentation. Weed Mapping. Computer Vision.

RESUMO

O monitoramento cultural desempenha um papel fundamental em plantações onde espécies de ervas daninhas são prevalentes. Ao lado dos esforços iniciais de erradicação, o monitoramento contínuo se mostra indispensável para conter a proliferação das ervas daninhas ao longo do processo de maturação da cultura. O objetivo principal deste estudo é explorar o potencial das redes neurais convolucionais (CNNs) na detecção e mapeamento preciso da presença de ervas daninhas em diversas etapas do crescimento da plantação, utilizando dados de imagens de alta resolução capturadas por uma câmera posicionada um metro acima do chão. Para aprimorar a precisão, o estudo concentra-se na realização da segmentação semântica das ervas daninhas *Cynodon dactylon* (gramínea) e *Amaranthus hybridus* (Caruru), bem como das culturas de *Glycine max* (soja). A investigação foi conduzida na Universidade de Santa Maria, resultando em um sistema de detecção de ervas daninhas altamente robusto em tempo real. Esse sistema demonstrou capacidades rápidas de segmentação (31,7 ms por imagem) e alcançou uma precisão de segmentação semântica com uma função de erro de 1.0026 (para uma imagem de 600 x 600 pixels). Ele identificou com eficiência tanto as ervas daninhas quanto a soja, discernindo precisamente seu tamanho e configuração, oferecendo assim uma solução prática e eficiente para o monitoramento eficaz de ervas daninhas.

Palavras-chave: Segmentação Semântica em Plantações. Mapeamento de Ervas Daninhas. Visão Computacional.

1. INTRODUCTION

Effective weed monitoring is of utmost importance in crop cultivation since, despite the application of specific toxins to control weed growth, certain weed species tend to persist and invade the crop. Numerous papers and applications have been developed to address the challenges of weed monitoring, and this session will cite some of the most notable ones.

Effective weed management is crucial for optimizing crop yield and quality. This importance is underscored by the research conducted by Fernández-Quintanilla et al. (2018), which not only examined the state-of-the-art in weed monitoring but also assessed the extent of implementation of these systems in real-world applications within arable fields. Similarly, Lopez-Granados et al. (2018), provided a comprehensive analysis of the significance and present status of remote and proximal (on-ground) real-time weed detection systems for site-specific weed management. This

study further explores the limitations and potential opportunities linked with these advanced technologies.

Bochtis et al. (2011) introduced an innovative system that combines robotics and field monitoring. This system uses a mobile robot and operates through the internet, enabling remote weed study and monitoring. In a similar vein, Ahmadi et al. (2022) developed a weed management platform known as BonnBot-I. This platform integrates advanced techniques for monitoring crops, including the use of the Global Navigation Satellite System (GNSS) and wheel odometry data. The result of using BonnBot-I was a significant reduction in the average error in weed detection during their tests, decreasing from 8.3% to 3.5%.

Semantic segmentation, denoted as the capability to partition an unfamiliar image into distinct constituent components and entities, as expounded upon by Guo et al. (2018), embodies considerable efficacy in various applications, especially when the application requires high precision in an image. Noteworthy contributions in this realm were undertaken by Wang et al. (2018), elucidating the mechanics of semantic segmentation through CNNs.

Certainly, a multitude of studies have delved into the utilization of CNNs for weed detection. Notable among these is the work of Razfar et al. (2022), which attained an impressive precision rate of 97.7% alongside a latency of 22.245 ms on detecting weed. However, no prior investigations have centered around semantic segmentation specifically within soy plantations. The potential contribution of semantic segmentation is noteworthy. It promises a heightened level of accuracy in discerning the growth of both weeds and soy, facilitating the computation of area metrics pertaining to these plant types.

This work enhances the understanding of semantic segmentation techniques. It distinguishes from prior research by not only detecting the presence of weeds in soy plantation images, but also by employing semantic segmentation techniques to accurately delineate and differentiate soy plants and weeds within the plantation. This innovative approach enables the calculation of weed mass and area with a level of precision previously unattainable. Furthermore, the proposed methodology exhibits exceptional speed and accuracy in its execution.

The employed methodology for training the neural network was composed of a series of distinct phases. Starting with the acquisition of images captured from the soy crop and dataset creation, subsequent image labeling, augmentation, neural network training, and culminated in its application and evaluation on video data.

The outcomes yielded by the neural network were notably promising, as evidenced by a commendable final segmentation error. The error averaged 0.73207 segmentation loss across the training set and a slightly elevated 1.0026 segmentation loss within the validation set, a significant accomplishment considering the resolution of 600x600 on those images. Furthermore, the efficiency of the CNN's image analysis is state of the art, requiring 31.7 milliseconds per image, translating to an impressive rate of 31 images per second.

This article is organized as follows: Session 1 introduces the paper's objectives and provides a literature review. Session 2 elaborates on the process of constructing the semantic segmentation system. In Session 3, the results are presented, and Session 4 offers a conclusion along with prospects for future research in this domain.

2. METHODOLOGY

The study's inception involved a series of stages, such as video capturing, the creation of an image dataset, data annotation and augmentation of the images, CNN training, and ultimately, the application of the trained network to analyze a video. Each process is depicted in this session.

2.1 VIDEO CAPTURING

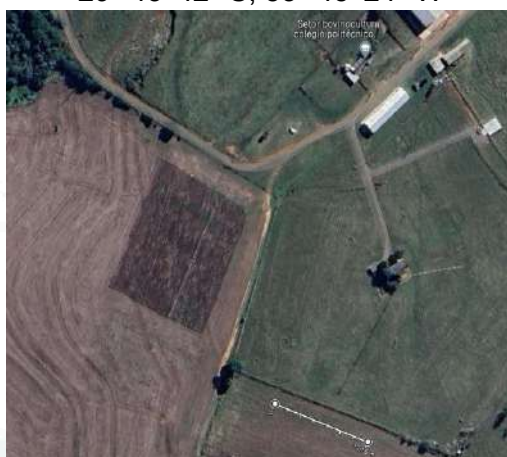
The data collection process involved capturing a comprehensive series of videos spanning the entire growth cycle of a plantation, from its initial stages to its final developmental phases. All video recordings were performed within consistent and contiguous areas, specifically encompassing a 14-meter extension each. The location remained unchanged throughout the recording process. These rigorous guidelines ensured that the recorded data maintained uniformity and relevance, thereby promoting the scientific validity and integrity of the dataset. The videos were captured at the Universidade Federal de Santa Maria in Brazil, within segments of a soybean

plantation. Two distinct parcels of the plantation were selected for the study: one characterized by minimal herbicide application, and the other maintained completely herbicide-free.

2.2 SOY AND WEED IMAGE DATASET

To facilitate the training and evaluation of the convolutional neural network (CNN) for weed detection, a dataset comprising plantation images was created. These images were extracted from the high-resolution videos, capturing various stages of the crop cultivation process. The approximate area where the images were taken can be seen in Figure 1, represented by a line. In total, the dataset contains 270 images, all on a resolution of 4k.

Figure 1 - Google Earth's Satellite image from the location where plantation data was captured:
29° 43' 42" S, 53° 45' 24" W



Source: Authors (2023)

The selection and preparation of this dataset was conducted with scientific rigor to ensure its representativeness and suitability for training and testing the model, following the concerns discussed at Fenrich et al. (1993). This rigorous approach enhances the reliability and generalizability of the results obtained from the subsequent weed detection experiments. Some of the images are presented at Figure 2.

Figure 2 - Dataset Initial Images



Source: Authors (2023)

2.3 LABELING AND AUGMENTING DATASET

The dataset underwent labeling using the RoboFlow labeling API, depicted by Lin et al. (2022), which offers advanced labeling functionalities founded on image segmentation and machine learning techniques. This labeling process significantly facilitated the efficient annotation of a large number of images. The labeling was made by manually applying semantic segmentation to the images. This technique involved the polygonal fitting of both weed and soy regions within the images. By delineating the boundaries of the respective regions, the labeling process achieved a higher level of granularity and semantic understanding, enabling the distinction between the weed and soy components within the images.

To enhance the effectiveness of the training process and promote improved generalization of the neural network, the image dataset underwent augmentation through a series of carefully selected transformations. This process has been reviewed and proved efficient over several situations, as depicted in works such as Perez et al. (2017) and Shorten et al. (2019). These augmentations included:

- Rotation: Images were rotated by both 90 degrees clockwise and counterclockwise, creating additional variations in the dataset.
- Crop: A range of minimum (28%) and maximum (55%) zoom levels were applied to crop the images, introducing diversity in spatial scales.
- Rotation: The dataset was further diversified by applying random rotations within the range of -15 degrees to +15 degrees.
- Brightness: To introduce variations in image luminance, brightness levels were randomly adjusted between -10% and +10%.
- Noise: A subtle amount of noise was added to approximately 1% of the image pixels, contributing to increased robustness and resilience to noise in real-world scenarios.

Through this augmentation process, the original dataset of 270 images was expanded to a more comprehensive collection of 467 images. This enlarged dataset with augmented variations allowed the neural network to learn from a broader range of scenarios, encompassing different scales, angles, brightness levels, and subtle noise. Consequently, the neural network's ability to generalize to unseen images, which may exhibit variations from those encountered during training, was substantially improved. This augmentation strategy promotes the model's adaptability and performance in real-world applications where the encountered images are likely to present diverse characteristics. Some augmented images are portrayed in Figure 3.

Figure 3 - Images After Data Augmentation



Source: Authors (2023)

2.4 CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK TRAINING

The CNN model selected for the task was the public and free to use Ultralytics YOLOv8m, which is the state of the art model for semantic segmentation. Information on this model and the API to use it can be found in the Ultralytics official website (<https://docs.ultralytics.com>). During the network training process, a widely adopted and essential technique known as transfer learning was employed. Transfer learning involves leveraging knowledge gained from pre-training a neural network on a large and diverse dataset, and subsequently fine-tuning the model on the specific dataset at hand, as explored by WEISS et al. (2016) and ZHUANG et al. (2020). Initially, the CNN model was pre-trained on the ImageNet dataset, described by Deng et al. (2009) and Ridnik et al. (2021), which contains a vast number of images from various object categories. This pre-training allowed the network to acquire valuable feature representations and learn relevant hierarchical patterns. Following the pre-training phase, the training was realized, using the created dataset, tweaking the parameters on the further layers of the neural network.

2.5 NEURAL NETWORK APPLICATION

Following the training of the neural network, the subsequent testing and application stages were conducted with straightforward procedures. The videos that were initially recorded for this experiment were fed frame by frame to the trained network. Subsequently, the network's predictions for each frame were recorded and visually represented through plotting.

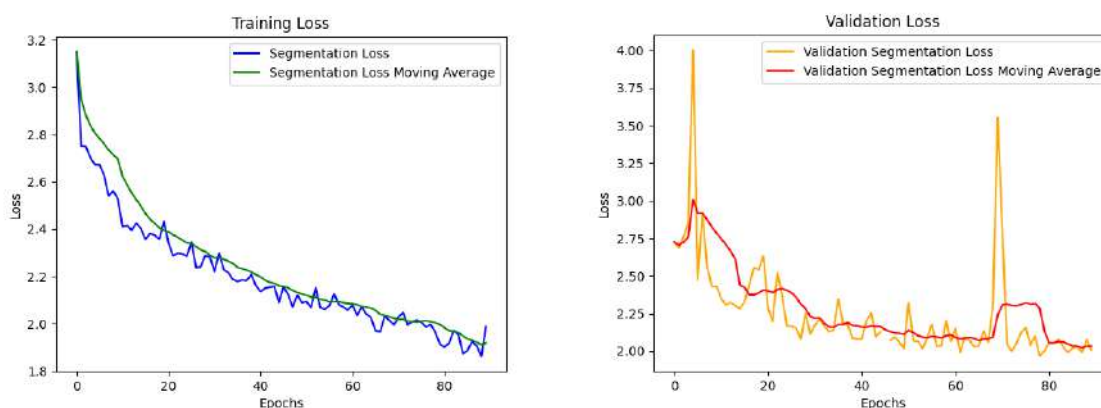
3. RESULTS

After a limited number of training epochs, the CNN demonstrated remarkable proficiency in comprehending the dataset, effectively accounting for variations in illumination, angles, and image resolutions. It exhibited a robust ability to extract meaningful features from the input data, thereby achieving a high level of clarity and accuracy in its understanding. The neural network was specifically trained to address the task of semantic segmentation, to accurately delineate regions of both weeds and soy plants.

The neural network underwent training over the course of 92 epochs, progressively assimilating the dataset and adeptly fulfilling its designated objective. The training process yielded a final segmentation loss error value of 0.7320 on average on the training set, and 1.0026 loss error of the pixels on average in the validation set, a level of precision that proves to be remarkably noteworthy, particularly within the context of images with dimensions of 600x600 pixels.

The training process reveals a gradual decay of the loss (prediction error) function in the training images. This decay exhibits a notably smooth trend, ultimately converging to a significantly low value. Similarly, the loss function's decline in the validation images is also very smooth and alike. This coherent pattern substantiates the neural network's robustness, indicating a lack of overfitting to the dataset. Notably, the validation loss curve culminates in impressively low values, affirming the model's generalization capability. The loss function is shown on Figure 4.

Figure 4 - Semantic Segmentation Loss Function in Training and Validation set

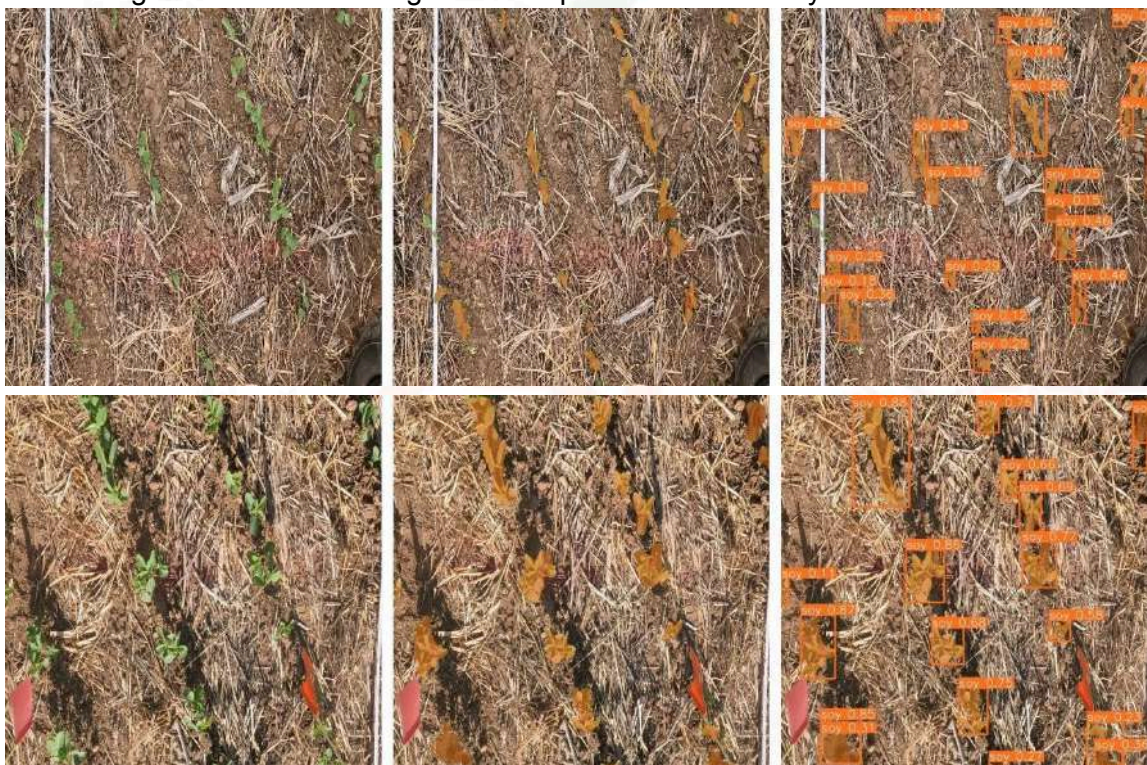


Source: Authors (2023)

In Figures 5-7, the semantic segmentation images depict the precise performance of the neural network in its designated task. Figure 5 represents the soy crop in its initial condition, devoid of weed intrusion. Moving to Figure 6, the identical crop is depicted at a more advanced stage, characterized by the presence of invading Caruru weed. Transitioning to Figure 7, the crop is again presented at an evolved stage, this time invaded by grassy weed. The segmentation performed by the network is notably meticulous, demonstrating a near-flawless demarcation between the soy and the weeds. The images show different stages of the crop growing. In orange, the *Glycine max* (soy) is highlighted, in pink *Cynodon dactylon* (grassy) is highlighted and in red, *Amaranthus hybridus* (Caruru) is highlighted. The images are organized in rows, each row displays the raw image, the pure semantic segmentation and the semantic segmentation with bounding boxes and labels, respectively.

Leveraging the capabilities of the Nvidia GeForce RTX 3050, equipped with 4GB of VRAM and 2048 CUDA cores, the neural network adeptly tackles the intricate task of image segmentation. This prowess translates into an average processing time of 31.7 milliseconds per image. This translates to the capability of processing approximately 31 images per second, meaning it could easily be implemented on videos and real time applications. This level of performance is particularly noteworthy given the complexity of the segmentation task, emphasizing the network's computational prowess.

Figure 5 - Semantic Segmentation prediction of the soybean in its initial state.



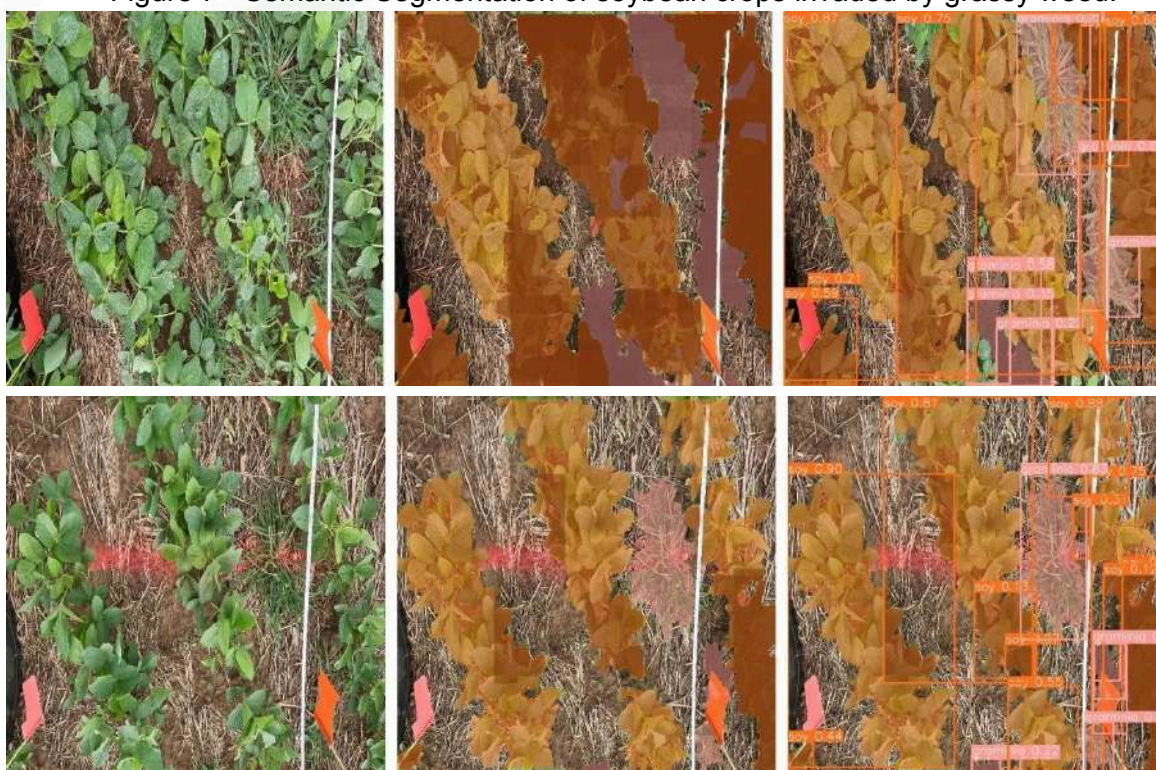
Source: Authors (2023)

Figure 6 - Semantic Segmentation prediction of soybean crops invaded by Caruru weed.



Source: Authors (2023)

Figure 7 - Semantic Segmentation of soybean crops invaded by grassy weed.



Source: Authors (2023)

4 CONCLUSION

The network demonstrated remarkable efficiency in accurately and efficiently segmenting both weeds and soy within the images. This solution has great potential for use in real time

systems, considering how fast it operates even with large image sizes. Looking ahead, potential avenues for future research involve the development of a meticulous mapping system based on the semantic segmentation outcomes derived from crop videos. This prospect holds significant promise and interest in the realm of weed management and the precise calculation of soy cultivation areas.

REFERENCES

- AHMADI, Alireza; HALSTEAD, Michael; MCCOOL, Chris. **BonnBot-I: A precise weed management and crop monitoring platform**. In: 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2022. p. 9202-9209.
- BOCHTIS, D. D. et al. **Robotic weed monitoring**. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science, v. 61, n. 3, p. 202-208, 2011.
- DENG, Jia et al. **Imagenet: A large-scale hierarchical image database**. In: 2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Ieee, 2009. p. 248-255.
- FENRICH, Richard; HULL, Jonathan J. **Concerns in creation of image databases**. Proceedings IWFHR-III, Buffalo, New York, p. 112-121, 1993.
- FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. et al. **Is the current state of the art of weed monitoring suitable for site-specific weed management in arable crops?**. Weed research, v. 58, n. 4, p. 259-272, 2018.
- GUO, Yanming et al. **A review of semantic segmentation using deep neural networks**. International journal of multimedia information retrieval, v. 7, p. 87-93, 2018.
- LIN, Qinjie et al. **RoboFlow: a data-centric workflow management system for developing AI-enhanced Robots**. In: Conference on Robot Learning. PMLR, 2022. p. 1789-1794.
- LÓPEZ-GRANADOS, Francisca. **Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches**. Weed Research, v. 51, n. 1, p. 1-11, 2011.
- PEREZ, Luis; WANG, Jason. **The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning**. arXiv preprint arXiv:1712.04621, 2017.
- RAZFAR, Najmeh et al. **Weed detection in soybean crops using custom lightweight deep learning models**. Journal of Agriculture and Food Research, v. 8, p. 100308, 2022.
- RIDNIK, Tal et al. **Imagenet-21k pretraining for the masses**. arXiv preprint arXiv:2104.10972, 2021.
- SHORTEN, Connor; KHOSHGOFTAAR, Taghi M. **A survey on image data augmentation for deep learning**. Journal of big data, v. 6, n. 1, p. 1-48, 2019.
- WANG, Panqu et al. **Understanding convolution for semantic segmentation**. In: 2018 IEEE winter conference on applications of computer vision (WACV). Ieee, 2018. p. 1451-1460.
- WEISS, Karl; KHOSHGOFTAAR, Taghi M.; WANG, DingDing. **A survey of transfer learning**. Journal of Big data, v. 3, n. 1, p. 1-40, 2016.
- ZHUANG, Fuzhen et al. **A comprehensive survey on transfer learning**. Proceedings of the IEEE, v. 109, n. 1, p. 43-76, 2020.

USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DE ENTRADA DE ÁGUA NA LAVOURA DO ARROZ IRRIGADO

Use of geotechnologies to estimate water intake in irrigate rice crop

Carlos Eduardo da Silva¹; Zanandra Boff de Oliveira²; Eduardo Leonel Bottega²; Pedro Trevisan Hamann²; Luis Felipe Baranzelli¹; Matheus da Silva Costa¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Rod. Taufik Germano nº 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, dasilvakadu03@gmail.com, luis2felipe5baranzelli@gmail.com,

² Universidade Federal de Santa Maria, Programa De Pós-Graduação Em Agricultura De Precisão Colégio Politécnico - Prédio 70, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil, zanandraboff@gmail.com, eduardo.bottega@ufsm.br, pthamann@gmail.com.

RESUMO

O uso das geotecnologias na agricultura auxilia na gestão, monitoramento e planejamento de propriedades rurais. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar o mapeamento e o levantamento da entrada da água de irrigação em dois talhões cultivados com arroz em sistema de inundação. O estudo foi realizado em talhões com 31 e 50 ha, em uma propriedade rural situada em Cachoeira do Sul -RS. O monitoramento da frente de avanço da água nos talhões por aeronave remotamente pilotada (RPA) do início ao final do processo de formação de lâmina de irrigação. O processamento das imagens, a interpolação do tempo de entrada de água e da área de irrigação em função do tempo de avanço foi realizada utilizando o software QGIS. O talhão 1 teve a irrigação completa em quatro dias, sendo 50% da área irrigada em 24 h e mais 50% nas outras 24 h e, o talhão 2 teve a irrigação completa em 12 dias, sendo 50% da área com formação de lâmina em 4 dias e o restante da área levou mais 8 dias. Assim, as ferramentas propostas neste estudo possibilitaram evidenciar gargalos em relação a infraestrutura da irrigação, contribuindo para melhorar a gestão da irrigação em áreas orizícolas.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Manejo de irrigação. *Oryza sativa* (L.).

ABSTRACT

The use of geotechnology in agriculture helps in the management, monitoring and planning of rural properties. Therefore, the objective of this work is to map and survey the input of irrigation water in two plots cultivated with rice in a flood system. The study was carried out in plots measuring 31 and 50 ha, on a rural property located in Cachoeira do Sul -RS. Monitoring of the water advance in the plots by piloted monitored aircraft (RPA) from the beginning to the end of the surface lamina formation process. Image processing, interpolation of water entry time and irrigation area as a function of advance time was carried out using QGIS software. Plot 1 had complete irrigation in four days, with 50% of the area irrigated in 24 h and a further 50% in the other 24 h, and plot 2 had complete supervision in 12 days, with 50% of the area having lamina formation in 4 days and the rest of the area taking another 8 days. Thus, the tools proposed in this study made it possible to highlight bottlenecks in relation to the security infrastructure, contributing to improving supervision management in rice farming areas.

Keywords: Precision Agriculture. Irrigation Management. *Oryza sativa* (L.).

1. INTRODUÇÃO

O arroz, terceiro cereal mais produzido no mundo, desempenha papel estratégico na segurança alimentar mundial, sendo base alimentar para mais de 3 bilhões de pessoas, correspondendo a 29% do total de grãos usados na alimentação humana (base casca) (SOSBAI, 2018). A cultura do arroz irrigado tem grande importância econômica sendo a principal cultura para os terrenos de várzea no estado do RS, de acordo com a CONAB, na safra 2020/21, representou 78% da produção nacional do cereal, que foi de 10.844.700 toneladas. A

produtividade média do arroz no RS teve aumento de 82% nos últimos 30 anos. Essa evolução deve-se às boas práticas de manejo e o melhoramento genético, porém apesar do aumento significativo na produtividade média do estado para aproximadamente 13.000 Kg ha⁻¹, o valor ainda está distante da produtividade alcançada por diversos produtores, que atingem produtividades superiores a 15.000 Kg ha⁻¹.

A planta de arroz é bastante exigente em nutrientes, sendo necessário que eles estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda, para não limitar a produtividade. Depois do potássio (K), o nitrogênio (N) é o nutriente que a planta de arroz mais acumula. O N é componente da clorofila, aumenta a área foliar da planta, a qual aumenta a eficiência de interceptação da radiação solar e a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (FANGERIA; SANTOS; STONE, 2003). No Rio Grande do Sul, praticamente a totalidade da área cultivada com arroz utiliza o sistema irrigado por inundação contínua (SCIVITTARO et al., 2012). Assim, as duas práticas de manejo supracitadas: aplicação de N em cobertura e entrada com a lâmina de irrigação, devem ser pensadas para maximizar o uso do fertilizante pelas plantas e reduzir as perdas de N por volatilização. O momento do início da irrigação deve ocorrer logo após a primeira adubação nitrogenada em cobertura, recomenda-se que aconteça o início da irrigação no estágio V₃ – V₄, para assegurar maior aproveitamento de nitrogênio aplicado (SOSBAI, 2018). Conforme a Circular Técnica Nº 009/fevereiro/2021 do IRGA, o ganho médio de produtividade é de 111,3 Kg ha⁻¹ em antecipar a irrigação do estágio V₃ para o V₁.

O principal sistema de irrigação utilizado no RS adotado para o cultivo do arroz irrigado é o de inundação, que pode ser utilizado desde que a declividade do terreno não exceda 1%. O terreno é dividido em unidades menores, como taipas em nível ou retângulos, denominadas tabuleiros. O manejo da irrigação deve atender às perdas por evapotranspiração e percolação sem que haja o aquecimento da água. De forma geral, este sistema de irrigação é formado por: conjunto de motobomba, linha principal, canais secundários e parcelares (STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 2023). O monitoramento da entrada da água de irrigação utilizando aeronave remotamente pilotada (RPAS), permite avaliar o tempo para a formação da lâmina de irrigação no talhão, a verificação de locais com atraso ou irrigação ineficiente, enfim, pode contribuir para a tomada de decisão a respeito da melhoria da infraestrutura do sistema de irrigação, da gestão da equipe e do tempo.

O uso de tecnologias RPAS está revolucionando a agricultura no mundo, sendo possível a utilização para fazer mapeamento, imagens aéreas, pulverização e monitoramento de culturas. A utilização de drones têm mostrado resultados promissores e relevantes para a agricultura. De forma sucinta os drones capturam imagens aéreas da lavoura que posteriormente é submetida a análise de imagens, que permite visualizar a plantação de um ângulo diferente, permitindo a identificação de problemas que antes seriam mais difíceis de identificar (GOMES et al., 2019).

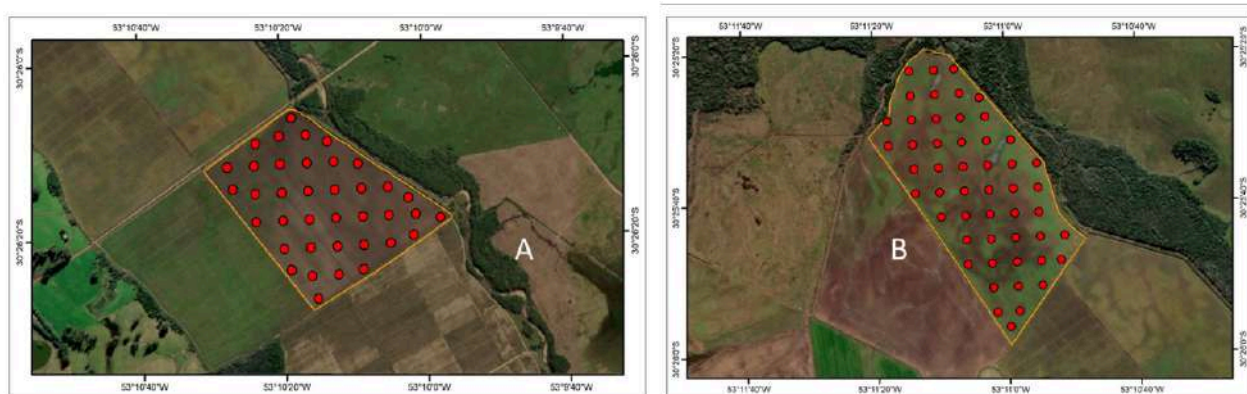
Sachs (2020), prevê que o setor agrícola será o segundo maior usuário de drones no mundo. O uso das geotecnologias na agricultura potencializa a eficiência do uso do tempo e auxilia na gestão, monitoramento e planejamento de propriedades rurais, e tendo em vista o custo de implantação, faz-se viável economicamente. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar o mapeamento e o levantamento da entrada da água de irrigação em dois talhões cultivados com arroz em sistema de inundação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no ano agrícola 2022-23, em lavoura comercial de arroz em sistema de cultivo mínimo, com terreno sistematizado em taipas. A área está localizada no distrito de Capané em Cachoeira do Sul/RS (30,45 S, 53,19°O). O solo predominante na região é

classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, unidade Vacacaí (STRECK, et al., 2008). As características de solos e relevo da região beneficiam a irrigação por inundação, contribuindo para que as áreas possuam excelente aptidão ao cultivo do arroz. Quanto ao clima, é classificado por Köppen como subtropical úmido - Cfa. Foram escolhidos 2 talhões como área experimental, um deles com área de 31 (Figura 1 A) hectares, outro com área de 50 hectares (Figura 1 B).

Figura 1 – Caracterização dos talhões estudados.



As cultivares IRGA 424 RI e IRGA 431 CL foram implantadas no sistema de cultivo mínimo em 12/10/22 e 08/11/22 para o talhão 1 (Figura 1 A) e 2 (Figura 1 B), respectivamente. A irrigação iniciou nos dias 17/11 (talhão 1) e 02/12 (talhão 2), quando na cultura estava em estágio fenológico de V₁, a partir do qual iniciou-se o monitoramento da frente de avanço da água nos talhões através do sistema RPAS.

A aeronave utilizada foi o DJI Mini 2 (Figura 2), produzido pela empresa DJI e possui dimensões de 138 x 81 x 58 mm com hélices dobradas e pesa cerca de 249 gramas, possui câmera embutida capaz de gravar vídeos em 4K a 30fps, e captura fotos de 12 megapixels, possui um gimbal de três eixos para estabilização da câmera, tem tempo máximo de voo de 31 minutos, alcance de até 10 km e velocidade máxima de 16 ms⁻¹. A tabela 1 apresenta as datas de voo em cada talhão.

Figura 2 – Modelo do drone utilizado



Fonte: <https://www.dji.com/br>

Tabela 1 – Datas e horários dos voos em cada talhão.

	Data	Hora
Talhão 1		
Início	17/nov	18:00
1	19/nov	9:00
2	20/nov	17:00
Talhão 2		
Início	02/dez	18:00
1	05/dez	11:00
2	07/dez	10:00
3	09/dez	9:00
4	11/dez	11:00

Fonte: Autores (2023)

Os voos foram realizados a 120 de altura do solo e as imagens foram capturadas com sobreposição frontal de 75% e lateral de 65%, o tamanho do pixel é de 5cm. Foi realizado levantamento planialtimétrico nas duas áreas antes da semeadura com o uso do drone e, após o início da irrigação, foram feitos voos periodicamente (Tabela 1) para geração dos ortomosaicos, o software utilizado para geoprocessamento foi o Agisoft Metashape Pro. Após os voos de monitoramento, foram gerados os ortomosaicos de cada voo, sendo possível identificar o avanço da irrigação pela diferença de coloração do solo, em seguida foi inserido cada ortomosaico no QGIS e traçado linhas definindo em cada voo o avanço da irrigação.

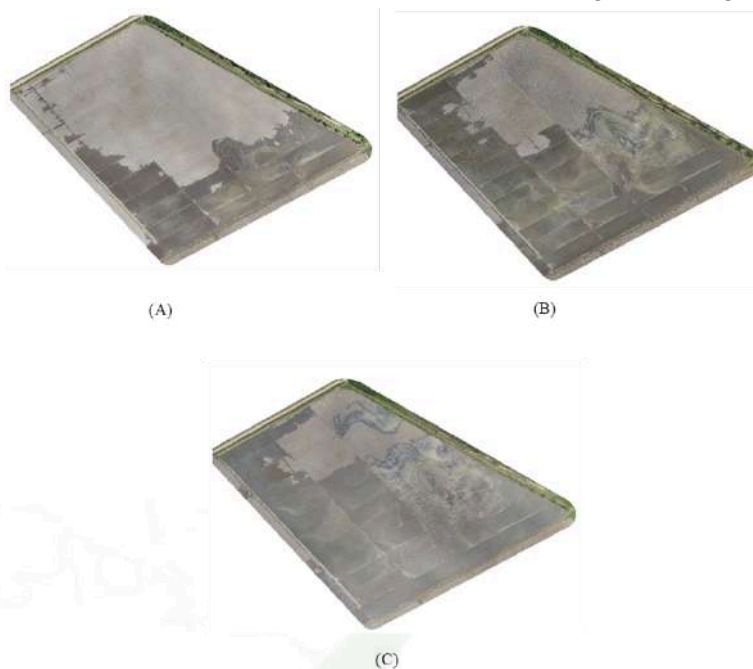
Foi utilizado o software QGIS desktop versão 3.30.3 para geoprocessamento dos ortomosaicos. Depois de traçar linhas limitando o avanço da entrada de água, foi feita interpolação do tipo TIN pelo método de interpolação linear, o atributo de interpolação foi o valor atribuído a cada linha, neste caso foi o tempo, em horas, que levou até que o avanço da irrigação estivesse em determinada linha. Em seguida foram geradas linhas de contornos sobre os mapas de interpolação a cada 24 horas, na sequência foi medida a área correspondente ao avanço de cada dia e calculado o equivalente ao percentual da área total de cada talhão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se nas figuras 3 e 4 a representação dos ortomosaicos para cada voo realizado (Tabela 1) e ambos os talhões. No talhão 1 nota-se que o avanço da água foi mais rápido, o que pode estar relacionado ao posicionamento mais adequado da infraestrutura de canais e compatibilidade com o tamanho do talhão e, também, a maior uniformidade de solo (textura e estrutura). Já o talhão 2, por estar bastante próximo ao rio, tem uma maior heterogeneidade de textura, pois há locais com deposição de areia, além de haver um indicativo de incompatibilidade entre infraestrutura de canais de distribuição da água e tamanho do talhão.

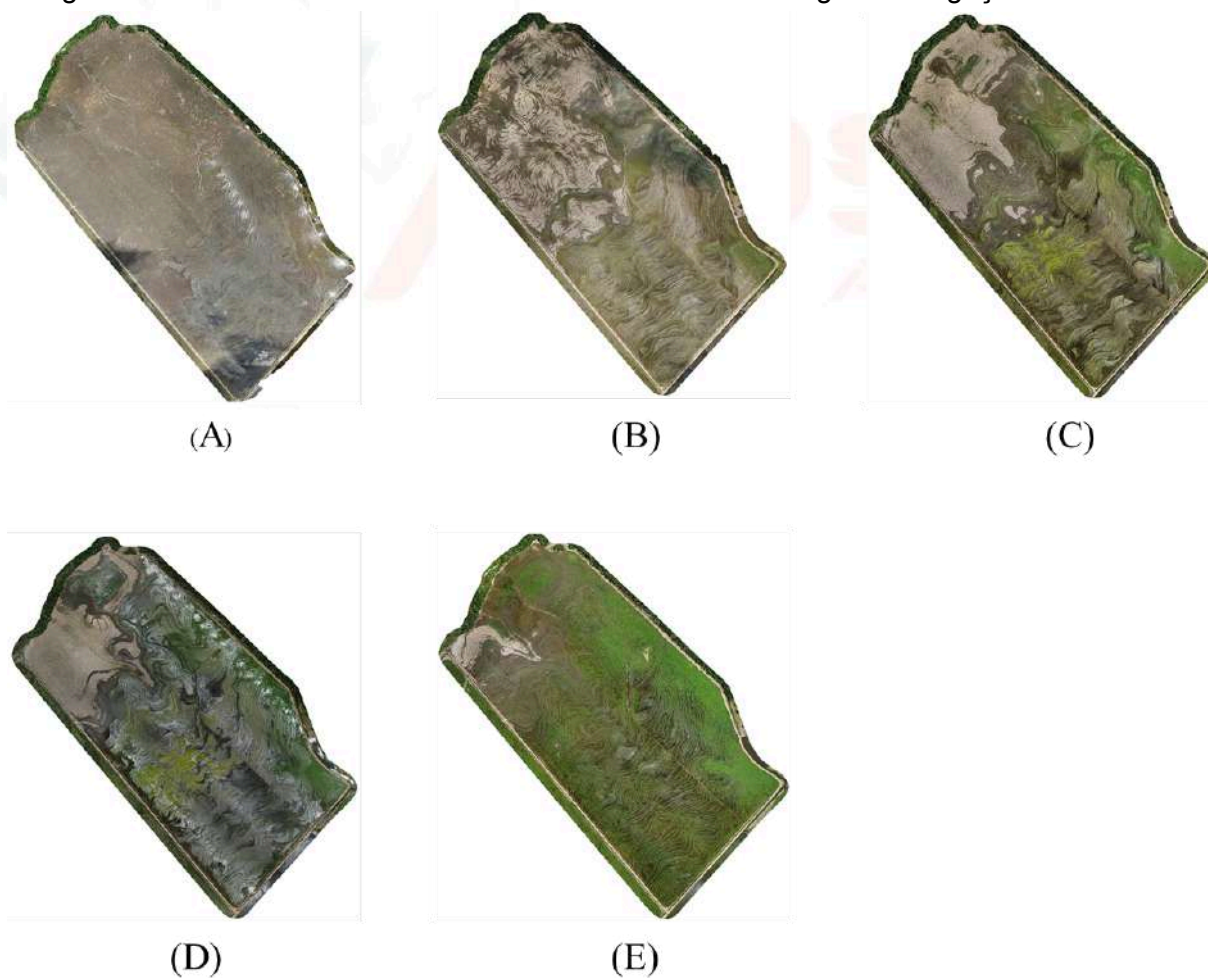
No sistema de irrigação contínua, estabelece-se o nível da água em 10 cm no momento da entrada da água no talhão, quando se observa que não há mais lâmina de água na área (solo apenas encharcado ou no máximo de 1 cm a 2 cm), a lâmina deve ser recolocada até a altura do vertedouro, para garantir que durante o desenvolvimento da cultura não ocorra estresse por deficiência hídrica, principalmente na época de aplicação de nitrogênio (EMBRAPA, 2021). Segundo Zamberlan et al. (2014), o atraso na entrada de água na lavoura de arroz pode causar prejuízos, reduzindo a produtividade final de grãos, que de acordo com Ramírez et al. (2007), é em média cerca de 1000 kg ha⁻¹ a menos a cada 10 dias de atraso de irrigação.

Figura 3 – Ortomosaicos do monitoramento da entrada de água de irrigação do talhão 1.



Fonte: Autores (2023)

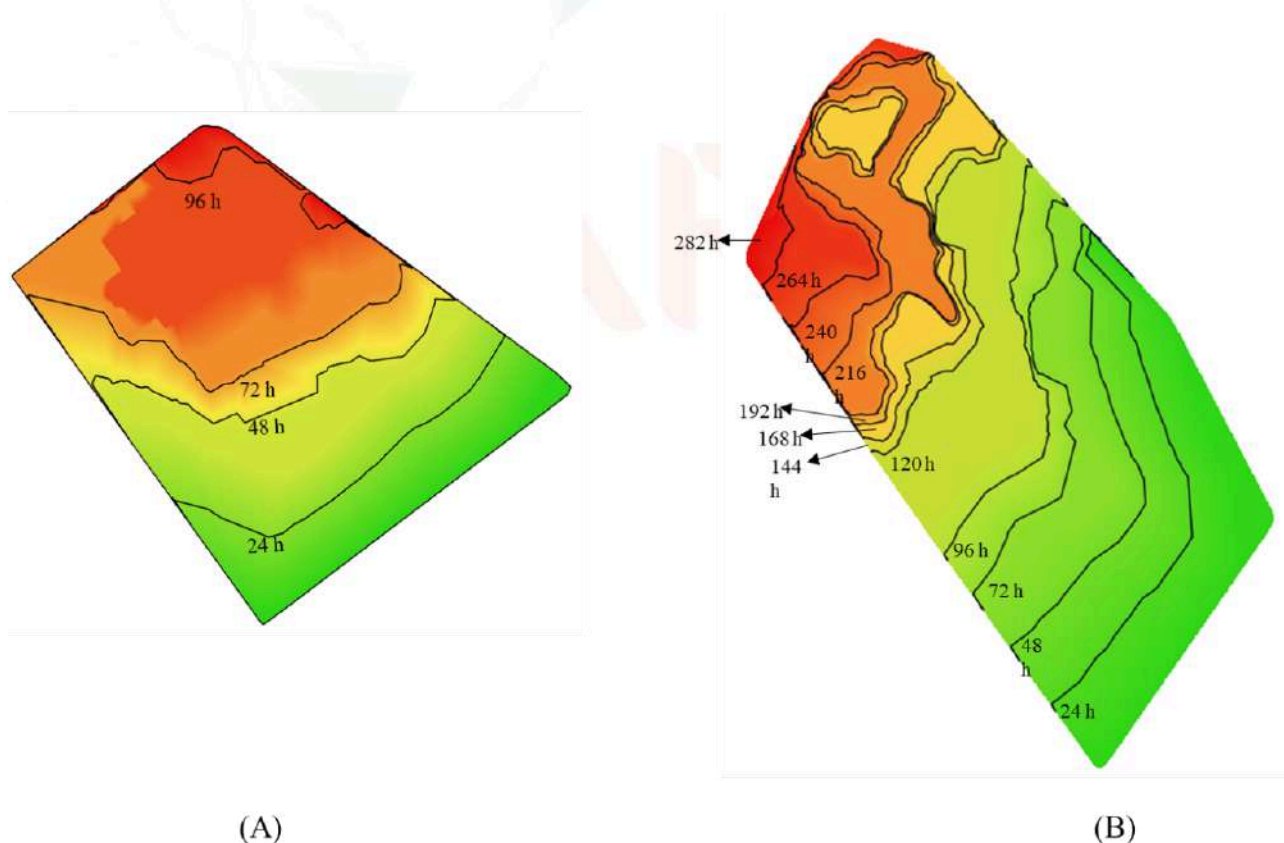
Figura 4 – Ortomosaicos do monitoramento da entrada de água de irrigação do talhão 2.



Fonte: Autores (2023)

Analisando a figura 5 e a tabela 2, é possível observar que o talhão 1 teve 50% da área irrigada em dois dias, sendo praticamente, em quatro dias completa a irrigação. Já, no talhão 2 houve um avanço mais acelerado da água de irrigação nos quatro primeiros dias, completando 50% da área. Este avanço foi potencializado por uma chuva de aproximadamente 50 mm que aconteceu neste período. Contudo, para completar a irrigação nos outros 50% da área levou mais oito dias, totalizando doze dias para a irrigação completa. A irrigação eficiente, em um menor tempo, é fundamental para o bom estabelecimento da cultura, pelo melhor aproveitamento da adubação nitrogenada e controle de plantas daninhas (SOSBAI, 2018; IRGA, 2021). No talhão 2 é possível observar que no fechamento da lâmina de irrigação (Figura 4 E), há pontos com maior percentual de cobertura vegetal que outros, evidenciando a importância da correta lâmina de irrigação para o estabelecimento das plantas e, também, que a heterogeneidade de textura e a estrutura do solo influenciam a dinâmica hídrica, podendo afetar o avanço e distribuição da água de irrigação. Pesquisas em solos de várzea tem avaliado alterações nas suas propriedades físicas (BAMBERG et al., 2009; MENTGES et al., 2013), evidenciando que o uso do solo ocasiona aumento na densidade e redução na porosidade total, macroporosidade e agregação do solo.

Figura 5 – Interpolações do horário em que houve a saturação do solo e formação da lâmina de irrigação geradas no software QGIS para os talhões 1(A) e 2(B).



Fonte: Autores (2023)

Tabela 2 – Resultado da área medida em hectares e em percentual em função do tempo de avanço da área de irrigação nos dois talhões.

Tempo (dias)	Área acumulada (ha)	Área (%)
Talhão 1		
1	6,3	19,3
2	15,2	46,6
3	19,8	60,6
4	31,7	96,9
5	32,7	100,0
Talhão 2		
1	8,5	17,0
2	14,9	29,7
3	22,0	43,9
4	25,5	50,9
5	33,9	67,8
6	35,3	70,6
7	38,9	77,8
8	40,2	80,3
9	45,0	90,0
10	46,9	93,7
11	49,4	98,8
12	50,0	100,0

Fonte: Autores (2023)

A ferramenta demonstrada neste estudo contribui para a melhoria da gestão da irrigação, pois a partir dos resultados apresentados, pode-se sugerir para uma próxima safra melhorias no sistema de irrigação no talhão 2, tais como: aumentar os pontos de entrada de água e a vazão do sistema, visando reduzir o tempo total de irrigação; ou dividir o talhão e 2, para uma maior agilidade na irrigação; ou distribuir parcialmente a adubação nitrogenada primeiro para os 50% da área que recebe irrigação antes e após a distribuição para o restante do talhão, para a maximização do fertilizante nitrogenado.

4. CONCLUSÃO

O mapeamento possibilitou identificar que o talhão 1 teve a irrigação completa em quatro dias, sendo 50% da área irrigada em 24 h e mais 50% nas outras 24 h e, o talhão 2 teve a irrigação completa em 12 dias, sendo 50% da área com formação de lâmina em 4 dias e o restante da área levou mais 8 dias.

As ferramentas propostas neste estudo, possibilitaram evidenciar gargalhos em relação a infraestrutura da irrigação e o tamanho do talhão e heterogeneidades em relação ao solo, que influenciam no avanço da água e formação da lâmina de irrigação para o arroz irrigado por inundação, contribuindo para a melhoria da gestão da irrigação na propriedade orizícola.

REFERÊNCIAS

BAMBERG, A.L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TIMM, L.C.; PINTO, L.F.S.; LIMA, A.C.R. & SILVA, T.R. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 33:1079-1086, 2009.

BERGMANN, C. et al. **Influência da época de irrigação na produtividade de cultivares de arroz irrigado**. XXVIII Congresso de Iniciação Científica UFPEL. Pelotas, 2019. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2019/CA_01780.pdf. Acesso 24 ago. 2023.

EMBRAPA. **Cultivo do arroz: Irrigação e drenagem**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-subtropical/irrigacao-e-drenagem>. Acesso 24 ago. 2023.

FANGERIA, A.K.; SANTOS, A.B.; STONE, L.L. Manejo de Nitrogênio em Arroz Irrigado. Circular técnica 58, Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/212407/manejo-de-nitrogenio-em-arroz-irrigado>. Acesso 15 set. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS - FAO. **FAO Cereal Supply and Demand Brief**. FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>. Acesso 24 ago. 2023.

GOMES, C.S. *Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais*. Cadernos do Leste, v. 19, n. 19, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/13160>. Acesso 24 ago. 2023.

GROHS, M. et al., **Implicações morfo-fisiológicas na planta de arroz e produtividade de grãos em função da antecipação da irrigação**. XI Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado. Balneário Camburiú, 2019. Disponível em: https://www.sosbai.com.br/uploads/trabalhos/implicacoes-morfo-fisiologicas-na-planta-de-arroz-e-p-rodutividade-de-graos-em-funcao-da-antecipacao-da-irrigacao_429.pdf. Acesso 24 ago. 2023.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. **Antecipação da irrigação para o controle de plantas daninhas e aumento da produtividade em arroz**. Circular Técnica Nº 009/fevereiro/2021. Porto Alegre: IRGA, 2021. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202101/26121157-circular-tecnica-valendo.pdf>. Acesso 24 ago. 2023.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. **Produtividades municipais - safra 2020/2021**. Porto Alegre, IRGA: 2021. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202107/07115654-produtividade-municipios-safra-20-21.pdf>. Acesso 24 ago. 2023.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. **Série Histórica de Área e Produção de Arroz no RS**. Porto Alegre: IRGA, 2021. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202108/03112722-producao-rs-historico.pdf>. Acesso 24 ago. 2023.

MENTGES, I.M.; REICHERT, J.M.; GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; XAVIER, A. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37 (1), Fev. 2013.

SCIVITTARO, W. B.; PARFITT, J. M. B.; SILVA, P. S. da; SIVEIRA, A. D. **Manejo da adubação nitrogenada para o arroz irrigado por aspersão**. Boletim de pesquisa 177, Embrapa Clima Temperado, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/991991/manejo-da-adubacao-nitrogenada-para-o-arroz-irrigado-por-aspersao>. Acesso 15 set. 2023.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Porto Alegre: SOSBAI, 2018. 205p.

STRECK, E. V., KÄMPF, N., DALMOLIN, R. S., KLAMT, E., NASCIMENTO, P. D., SCHNEIDER, P., Pinto, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: EMATER-RS, UFRGS, 2008. 222 p



USO DA GEOESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA PARA A ANÁLISE MENSAL DO CONFORTO TÉRMICO NO RIO GRANDE DO SUL

Use of geostatistics as a tool for the monthly analysis of thermal comfort in Rio Grande Do Sul

Renan Ivan Schüller¹, Zanandra Boff de Oliveira¹; Eduardo Leonel Bottega¹, Ricardo Braga Rosa¹, Gustavo Henrique Aguiar Alves¹, Matheus Da Silva Costa, Luís Felipe Baranzelli¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Rod. Taufik Germano nº 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil. renanschller@gmail.com, zanandraboff@gmail.com, eduardo.bottega@ufsm.br, ricardobrosa@hotmail.com, gustavo_henriqueaa@hotmail.com, matheussilva.costa01@gmail.com, luis2felipe5baranzelli@gmail.com.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar a geoespacialização mensal do índice de conforto térmico ITU no território gaúcho para contribuir com a tomada de decisão quanto às necessidades de estratégias para acondicionamento térmico ambiental. O cálculo do índice de temperatura e umidade (ITU) foi realizado para 42 municípios do estado. Para isso, os dados de temperatura e umidade relativa horários foram obtidos do banco de estações meteorológicas automáticas do INMET de 2000 a 2020. Calculou-se o ITU horário e posteriormente fez-se a média mensal do índice. Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático da distribuição espacial da variável por meio de krigagem ordinária. Na maioria dos meses, parte do território que compreende as regiões Centro-Oeste, Sudoeste, Nordeste e Metropolitana possuem valores mais elevados de ITU e parte do território da região Nordeste e Sudeste, apresentam os menores valores do índice. De dezembro a fevereiro, o ITU atinge valores máximos entre 72 e 74 indicativos de estresse por calor e de junho a julho a maior parte do território está com ITU entre 54 e 56, indicativo de desconforto a estresse por frio.

Palavras-chave: Ambiência de precisão. Indicadores de conforto térmico. Geoespacialização.

ABSTRACT

The present work aimed to carry out the monthly geospatialization of the THI thermal comfort index in the territory of Rio Grande do Sul to contribute to decision-making regarding the need for strategies for environmental thermal conditioning. The calculation of the temperature and humidity index (ITU) was carried out for 42 municipalities in the state. For this, hourly relative temperature and humidity data were obtained from INMET's database of automatic meteorological stations from 2000 to 2020. The hourly THI was calculated and then the monthly average of the index was calculated. Once the spatial dependence was detected, the thematic map of the spatial distribution of the variable was produced using ordinary kriging. In most months, part of the territory comprising the Midwest, Southwest, Northeast and Metropolitan regions has higher THI values and part of the territory in the Northeast and Southeast regions has the lowest values of the index. From December to February, the THI reaches maximum values between 72 and 74 indicative of heat stress and from June and July most of the territory has a THI between 54 and 56, indicative of discomfort due to cold stress.

Keywords: Precision ambience. Thermal comfort indicators. Geospatialization.

1. INTRODUÇÃO

O clima é um dos principais fatores que afetam a produção animal, sendo importante o seu conhecimento para o projeto de instalações e de sistemas para acondicionamento térmico ambiental. Outrossim, está diretamente relacionado ao trabalho humano, podendo afetar os níveis de distração dos trabalhadores, o seu desempenho e suas produtividade (OLIVEIRA et al., 2017). Para Nóbrega et al. (2011), o estresse calórico é um dos principais limitantes à produção animal nos trópicos. Vieira Junior et al. (2019) destaca que o desconforto térmico é uma das principais causas de perdas de produção em animais totalmente expostos à radiação solar em pecuária extensiva. Nos humanos, o estresse térmico interfere na alimentação, na vestimenta e no tipo e intensidade das atividades (BURIOL et al., 2015).

O ambiente térmico engloba os efeitos da radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento (BAETA; SOUZA, 2010), sendo a combinação temperatura com a umidade a principal condicionante para conforto térmico, pois comprometem a manutenção da homeotermia, uma função vital alcançada por meio de processos sensíveis e latentes de perda de calor (TINÔCO, 2001; OLIVEIRA et al., 2006). Portanto, a análise do conforto térmico pode ser realizada por meio de índices, destacando-se o índice de temperatura e umidade (ITU) (THOM, 1959; BUFFINGTON et al., 1982), que considera a integração entre temperatura e umidade relativa do ar, variáveis estas, facilmente obtidas e disponíveis na rede de observações do INMET.

Técnicas geoestatísticas estão sendo cada vez mais utilizadas na área de ambiência de precisão em escala regional para elaboração de mapas temáticos de zoneamentos bioclimáticos (OLIVEIRA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2018) e em escala de alojamento/galpão (QUEIROZ et al., 2017; CURI et al., 2014). A geoestatística é uma ferramenta que permite a interpretação dos resultados baseada na estrutura de sua variabilidade natural, por meio do cálculo da dependência espacial (VIEIRA, 2000). Portanto, o conhecimento da variabilidade espacial de indicadores ambientais pode auxiliar na definição de técnicas construtivas e estratégias para acondicionamento térmico ambiental, contribuindo para uma melhor eficiência produtiva. Assim, o presente trabalho tem como objetivo o uso da geoestatística como ferramenta para a análise mensal do conforto térmico no Rio Grande Do Sul.

2. MATERIAL E MÉTODOS

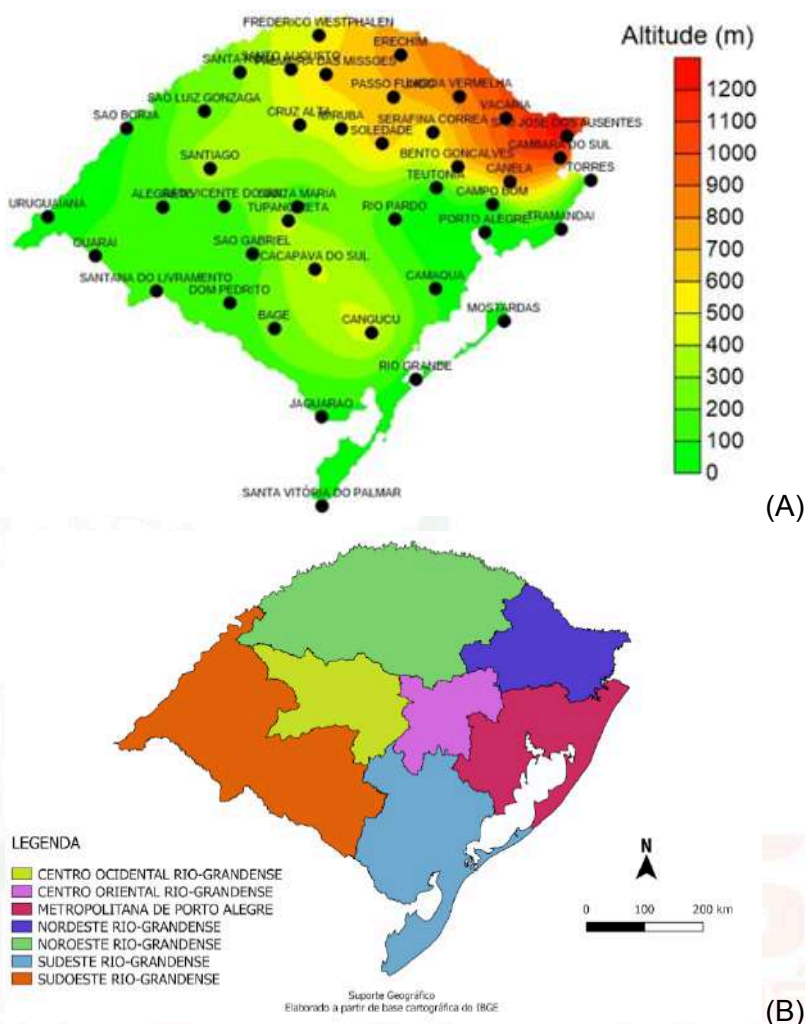
O estudo foi realizado em quarenta e dois municípios do estado do RS, localizados em diferentes regiões. Na figura 1 é apresentado o mapa de localização, bem como os municípios avaliados no estudo. Os dados meteorológicos horários de temperatura do ar e de umidade relativa do ar, utilizados para o cálculo do ITU, foram referentes ao período de 2000 a 2020 obtidos do banco de dados de estações meteorológicas do INMET.

O ITU foi calculado pela Equação 1, proposta por Buffington et al. (1982).

$$ITU = 0,8 Tar + UR \frac{Tar - 14,2}{100} + 46,3 \quad (1)$$

Onde: ITU = índice de temperatura e umidade, adimensional; Tar = temperatura do ar °C; UR = umidade relativa do ar (%).

Figura 1 - Mapa com a localização geográfica dos municípios estudados (A) e das mesorregiões do RS (B).



Para a realização dos mapas de variabilidade espacial os trabalhou-se com dados médios mensais para cada local em cada mês do ano. A dependência espacial do ITU foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 2.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (2)$$

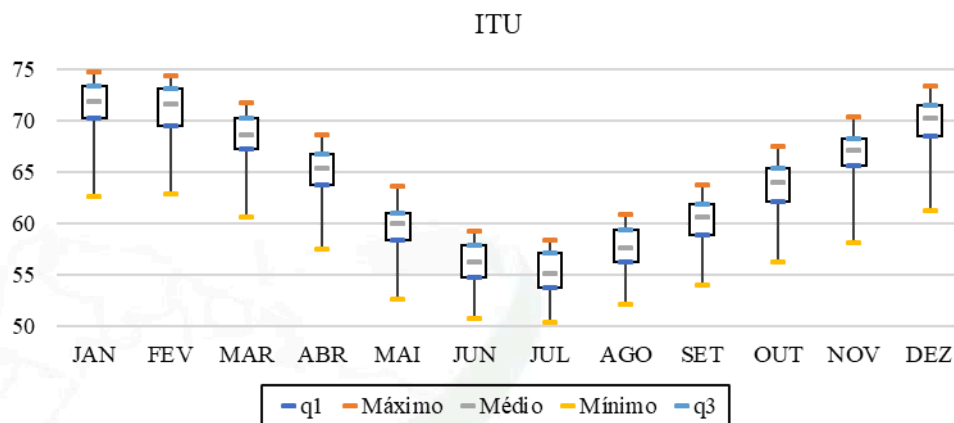
Onde: $\hat{\gamma}(h)$: Semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;
h: Distância de separação entre pares de pontos, m; N (h): Número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_{i+h})$ separados por uma distância h.

Foram testados os seguintes modelos: linear com patamar, gaussiano, esférico e exponencial. Selecionou-se o modelo que apresentou a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR). Após a escolha do modelo, foram determinados os parâmetros: efeito pepita (C0), patamar (C0 + C) e alcance (A). Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático de variabilidade espacial do ITU. A interpolação dos mapas foi realizada utilizando o método da krigagem ordinária.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do boxplot do ITU para os diferentes locais no estado do Rio Grande do Sul (Figura 2), indicam elevada amplitude anual, com ITU entre 50 e 75, e mensal, sobretudo de novembro a janeiro.

Figura 2 – Boxplot do ITU para os diferentes meses do ano.



Fonte: Autores (2023)

Está elevada amplitude nos valores de ITU (Figura 2) demonstra que a adequação do ambiente térmico para as diferentes espécies de animais de produção zootécnica é bastante complexa no Rio Grande do Sul. Conforme Souza et al. (2010), o desconforto térmico por calor para a maioria dos animais de produção inicia-se com valores de ITU superiores a 74, o que é notável de dezembro a março (Figura 2), mas isso é bastante específico em função do tipo, idade e condição de saúde dos animais.

Para Silva (1999), para a criação de suínos em locais com ITU superior a 70 são necessárias modificações do ambiente térmico para redução do calor. Sem a adoção de práticas de acondicionamento térmico em locais com ITU superior a 72 não é possível a criação de frangos de corte a partir da terceira semana de vida (ABREU; ABREU, 2011; SILVA, 2007). Vacas Holandesas submetidas a ITU superior a 72 apresentam estresse calórico (HIGASHIYAMA et al., 2013).

Além da condição de desconforto e estresse por calor, há o desconforto ou estresse por frio. Embora, não tenha disponível na literatura escala de ITU para o frio, Oliveira; Knies (2019) sugerem utilizar a mesma escala do índice de desconforto humano (IDH) proposto por ONO; KAWAMURA (1991), cuja metodologia de cálculo resulta em valores muito similares ao do ITU. Assim, ITU menor que 60, observado em abril, outubro e novembro, é indicativo de desconforto por frio e, menor que 55, observado de maio a setembro, é indicativo de estresse por frio. Para a criação animal no período de outono e inverno, atenção especial deve ser dada a animais na fase inicial de vida, que são mais sensíveis ao estresse térmico por frio (BAÊTA; SOUZA, 2010). Segundo esses mesmos autores, até certo limite de adversidade, o animal homeotermo em condições de baixa temperatura, consegue sobreviver através das compensações fisiológicas, aumentando a produção calórica e redução das perdas para o ambiente, podendo manter a temperatura interna controlada, contudo prejuízos na performance que podem ser irreversíveis.

Na tabela 1 estão apresentados os parâmetros referentes aos ajustes dos semivariogramas teóricos para a dependência espacial do ITU no estado do Rio Grande do Sul.

Nota-se que o modelo linear foi o que melhor se ajustou à semivariância experimental em sete meses, seguido do esférico e gaussiano, ambos em dois meses. O menor valor de alcance observado foi de 392,94 m e o maior foi de 640,20 m (Tabela 1). O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante para a interpretação dos semivariogramas, porque indica a distância máxima até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, quanto maior o alcance, maior a homogeneidade entre as amostras (VIEIRA et al., 2010).

Tabela 1 – Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas e da análise de validação cruzada referente aos modelos teóricos para a modelagem da dependência espacial do ITU no RS em diferentes meses do ano.

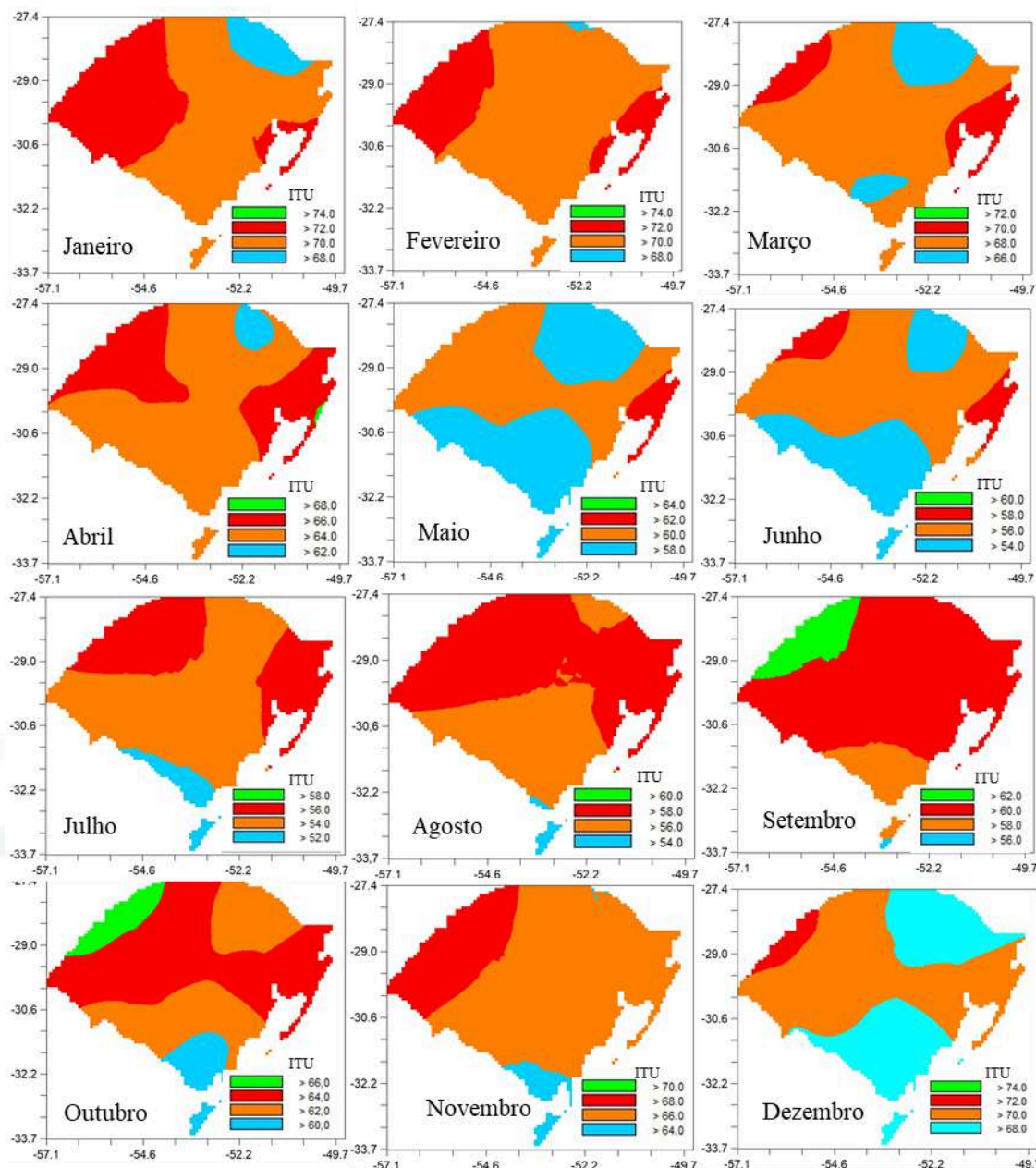
Mês	Modelo	Parâmetros do variograma				Parâmetros da validação cruzada		
		Co	C	Ao	R ²	CR	EPP	R ²
Janeiro	Linear	4,1		397,1	0,8			
		0	4,30	0	9	1,24	1,34	0,35
Fevereiro	Linear	2,1		399,6	0,9			
		8	3,60	0	1	1,40	1,24	0,47
Março	Linear	2,1		421,8	0,9			
		0	3,20	0	1	1,37	1,21	0,48
Abril	Exponencia l	1,5		392,9	0,9			
		9	4,60	4	5	1,40	1,19	0,51
Maio	Gaussiano	1,4		530,5	0,9			
		4	3,68	8	5	1,36	1,19	0,54
Junho	Gaussiano	1,3		538,3	0,9			
		9	3,35	5	6	1,28	1,21	0,58
Julho	Linear	1,7		399,6	0,9			
		8	3,46	0	6	1,23	1,34	0,40
Agosto	Linear	1,9		410,7	0,9			
		1	3,26	0	4	1,24	1,34	0,35
Setembro	Esférico	1,2		640,2	0,9			
		4	4,78	0	8	1,16	1,37	0,45
Outubro	Esférico	1,2		629,2	0,9			
		3	4,71	0	8	1,12	1,34	0,40
Novembr o	Linear	1,2		396,0	0,9			
		7	3,98	0	3	1,24	1,28	0,40
Dezembr o	Linear	1,5		396,0	9,9			
		1	3,28	0	2	1,26	1,28	0,37

Legenda: C₀+C: patamar; C₀: efeito pepita; Ao: Alcance (m); R²: Coeficiente de determinação; CR: coeficiente de regressão; EPP: eficiência da predição.

Fonte: Autores (2023)

O erro padrão de predição, ou seja, a incerteza associada à estimativa de valores em locais não amostrados, variou de 1,19 a 1,37 (Tabela 1), valores aceitáveis de ajuste dos modelos, sendo possível produzir o mapa de variabilidade espacial do ITU no RS para as diferentes estações do ano com intervalo de classe de ITU de 2 (Figura 3).

Figura 3 – Mapa temático do índice de temperatura e umidade (ITU) para os diferentes meses do ano no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Autores (2023)

O padrão da variabilidade espacial do ITU é diferente para os diferentes meses do ano, mas na maioria dos meses, parte do território que compreende as regiões Centro, Sudoeste, Nordeste e Metropolitana possuem valores mais elevados de ITU e parte do território da região Nordeste e Sudeste (Figura 1 B), apresentam os menores valores do índice. Fatores como altitude e continentalidade influenciam diretamente na temperatura e umidade relativa do ar e por consequência no índice. Cargnelutti et al. (2006) afirmam que, para o estado do Rio Grande do Sul, a altitude exerce maior influência que a latitude na temperatura média decêndial do ar. Assim, locais com maior altitude tendem a apresentar menor valor de ITU e vice-versa. Além disso, a umidade relativa do ar, que possui relação linear com o ITU, é mais elevada em regiões litorâneas, que pode resultar em maiores valores do índice nestes locais, sobretudo, nos meses mais quentes.

De dezembro a fevereiro o ITU atingiu valores máximos entre 72 e 74, indicativos de desconforto a estresse por calor, com uma porção maior do território nesta condição em janeiro. Como é de se esperar, os meses de inverno apresentam os valores mais baixos, sendo que em junho e julho, a maior parte do território está com ITU entre 54 e 56, indicativo de desconforto a estresse por frio. Nos meses de primavera e outono, mesmo com a variabilidade espacial do índice no estado, os valores enquadram-se mais próximos aos indicativos de conforto térmico (ITU entre 60 e 70).

4. CONCLUSÕES

As ferramentas utilizadas neste estudo permitiram especializar o índice de temperatura e umidade no estado do Rio Grande do Sul para os diferentes meses do ano, sendo possível estratificar o território em até quatro classes.

O padrão da variabilidade espacial do índice de temperatura e umidade é diferente para dos diferentes meses do ano, mas na maioria dos meses, parte do território que compreende as regiões Centro-Oeste, Sudoeste, Nordeste e Metropolitana possuem valores mais elevados e parte do território da região Nordeste e Sudeste, apresentam os menores valores do índice.

O índice de temperatura e umidade atinge valores máximos, entre 72 e 74, indicativos de estresse por calor de dezembro a fevereiro, e mínimos, entre 54 e 56, indicativo de desconforto a estresse por frio, em junho e julho.

REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, p.1-14, 2011. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/901939/1/osdesafiosdaambienciasobreossistemas.pdf>>. Acesso em: 10 mar 2017.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: Conforto animal**. 2. ed. Viçosa: EDUFV, 269p, 2010.

BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J.; CANTON, G. H. Shede management systems to reduce heat stress for dairy cows. St. Joseph: **American Society of Agricultural engineers**, p. 16 (PAPER 82-4061), 1982.

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; RIGHI, E.Z.; BRESSAN, V.C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.2, p.223-230, fev, 2015.

CARGNELUTTI FILHO, A; MALUF, J. R T; MATZENAUER, R; STOLZ, Á. P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decenal do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 893-901, 2006.

CURI, TM. R. de C; VERCELLINO, R.A.; MASSARI, J.M.; SOUZA, Z.M.; MOURA, D.J. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1062-1074, Dec. 2014.

HIGASHIYAMA, H.; IKEDA, K.; KOMATSU, T.; FUKASAWA, M. Welfare of lactating Holstein cows under outdoor grazing and indoor housing in relation to temperature and humidity in summer in Japan. **Livestock Science**. p 86-91, v 155, 2013.

NOBREGA, G.H.; SILVA, E.N. Da.; SOUZA, B.B.; MANGEUIRA, J.M. A produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Vol. 6, Nº. 1, 2011

OLIVEIRA, R. M; DONZELE, J. L.; ABREU DE, M. L.T.; FERREIRA, R. O.; VAZ, R. G. M. V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.35, n.3, p.797-803, 2006.

OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L.; SILVA, C. M. ; RODRIGUES, L. R. ; KNIES, A. E. . Zoneamento bioclimático do estado do Rio Grande do Sul para o conforto térmico de animais e do trabalhador rural. **Ambiência**, Guarapuava, v. 13, p. 423-438, 2017.

OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L.; SILVA, C. M. ; SOUZA, I. J. ; LINK, T. T. **Variabilidade especial do índice de temperatura e umidade em cenários de mudança climática no RS**. In: Livro digital trabalhos completos do IV Congresso Sul Americano de agricultura de precisão e máquinas precisas. 1ª Edição. 1ed.Santa Maria: CESPOL, p. 178-188.2018. Disponível em: <http://apsulamerica.com.br/wp-content/uploads/sites/10/2018/03/Livro-com-ISBN.pdf>. Acesso em: 30 maio. 2018.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E. Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambiente externo na região central do RS. **Energia na Agricultura**, v. 34, p. 377-388, 2019.

ONO, H. S. P.; KAWAMURA T. Sensible Climates in Monsoon Asia. **International Journal Biometeorology**. vol. 35, nº XX, pp. 39-47, 1991.

QUEIROZ, M.L.V.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; SALES, F.A.L.; LIMA, L.R.; DUARTE, L.M. Variabilidade espacial do ambiente em galpões de frango de corte com sistema de nebulização. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 48, n. 4, p. 586-595, out-dez, 2017.

SILVA, E. T. Índice de temperatura e umidade (ITU) na produção de aves para a Mesoregião do Nordeste e Norte pioneiro Paranaense. **Revista Acadêmica**, Paraná, v.5, n.4, p.385,390, 2007.

SILVA, I.J.O. Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 4., 1999, São Paulo. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPSEA, p.108-325,1999.

SOUZA, A.; PAVÃO, G.H.; LASTORIA, G.;GABAS, S.G.;CAVAZZANA, G.H.; PARANHOS FILHO, C.. Modelo de Thom para o zoneamento bioclimático de Mato Grosso do Sul. **Revista de Geografia Norte Grande**, Santiago-Chile, v.46, p.137-147, 2010.

THOM, E.C. **The discomfort index**. **Weatherwise**, Boston, v.12, n.1, p.57-60, 1959.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.3, n.1, p.1-26, 2001.

VIEIRA, S.R, GUEDES FILHO, O, CHIBA, M.K, MELLIS, E.V., DECHEN, S.C.F. & DE MARIA, I.C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, n. 5, 2010.

VIEIRA JUNIOR, N. A., SILVA, M. A. DE A. E, CARAMORI, P. H., NITSCHKE, P. R., CORRÊA, K. A. B., & ALVES, D. S. Temperatura, conforto térmico e comportamento ingestivo animal em sistema silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, 40(1), 403–416, 2019.



VARIABILIDADE ESPACIAL DE INDICADORES DE CONFORTO TÉRMICO EM GALPÕES AVÍCOLAS

Spatial Variability Of Thermal Comfort Indicators In Poultry Houses

Ricardo Braga da Rosa¹; Zanandra Boff de Oliveira¹; Leonardo Balissera Maffini¹; Gustavo Henrique Aguiar Alves¹; Renan Ivan Schuller¹; Luis Felipe Baranzelli¹; Matheus da Silva Costa¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, campus de Cachoeira do Sul, Rod. Taufik Germano nº 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – RS, Brasil, ricardo201821377brosa@gmail.com, zanandrabofoff@gmail.com, leomaffini79@gmail.com, gustavo_henriqueaa@hotmail.com; renanschuller@gmail.com; luis.baranzelli@acad.ufsm.br; matheussilva.costa01@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo especializar indicadores de conforto térmico para galinha poedeiras dentro de galpões com diferentes características construtivas em um dia de inverno na região central do RS. Foram avaliados quatro galpões (G), nas seguintes configurações: (G1) – orientação Leste-Oeste (L-O); sem cortina nas laterais que são abertas; (G2) – orientação L-O, com cortina fechada em ambas as laterais; (G3) - orientação Norte-Sul (N-S); com cortina fechada na fachada Oeste, apenas; (G 4) - orientação N-S; sem cortinas nas laterais que são abertas. As ferramentas utilizadas neste estudo permitiram especializar os indicadores de conforto térmico (índice de temperatura e umidade, temperatura do globo negro e temperatura da superfície das aves) nos quatro galpões avaliados, sendo possível identificar até três classes ambientais distintas dentro das edificações. A variabilidade espacial está relacionada à orientação solar e a presença de cortinas nas estruturas, sendo o galpão (G2) o que apresentou uma menor amplitude de valores de índices de conforto térmico e maior área com animais com temperatura mais próxima à adequada.

Palavras-chave: Ambiência de Precisão. Geoestatística. Conforto térmico.

ABSTRACT

The present work aims to specialize thermal comfort indicators for laying hens inside sheds with different constructive characteristics on a winter day in the central region of RS. Four sheds (G) were evaluated, in the following configurations: (G1) – East-West orientation (L-W); no curtain on the sides that are open; (G2) – L-W orientation, with curtain closed on both sides; (G3) - North-South orientation (N-S); with curtain closed on the West facade only; (G 4) - N-S orientation; no curtains on the sides that are open. The tools used in this study made it possible to specialize the thermal comfort indicators (temperature and humidity index, black globe temperature and surface temperature of the birds) in the four evaluated sheds, making it possible to identify up to three distinct environmental classes within the buildings. Spatial variability is related to solar orientation and the presence of curtains in the structures, with the shed (G2) having the lowest range of thermal comfort index values and the largest area with animals with a temperature closer to the appropriate one.

Keywords: Precision Ambience. Geostatistics. Thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a avicultura de postura teve uma expansão muito significativa nos últimos anos. Os dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) indicam que no ano de 2021 a

produção total de ovos foi superior a 54.973 bilhões de unidades, sendo 99,54 % para consumo interno. O estado do Rio Grande do Sul é o segundo estado brasileiro que mais exporta ovos, sendo que em 2020 foi responsável por 20,49% das exportações. Ainda, o aumento do consumo de ovos no Brasil, justifica-se devido ao seu elevado valor nutricional, assim como por possuir preço mais acessível em relação à carne (SILVA et al., 2020).

As galinhas poedeiras podem ser classificadas em três fases conforme a idade: a fase de cria compreende aves de um dia até seis semanas de idade, na fase de recria as aves possuem de sete a dezessete semanas de idade e a fase de produção ocorre entre dezoito a cento e dez semanas de idade (SILVA et al., 2020). Estas aves de postura são criadas tanto em sistema intensivo (convencional) em que as galinhas são dispostas em gaiolas, quanto em extensivo ou alternativo como por exemplo, o *free-range*, o colonial, o orgânico e o caipira. Sendo o sistema convencional em gaiola o mais comum, apesar das ressalvas relacionadas ao bem-estar das aves (AMARAL et al., 2016; ALVES; SILVA; PIEDADE, 2007).

Os galpões avícolas podem ter diferentes características construtivas sendo abertos ou fechados, com ventilação natural ou artificial. O posicionamento longitudinal do galpão avícola no sentido Leste-Oeste é de suma importância a fim de evitar a incidência direta dos raios solares na parte interna da instalação e a variabilidade de temperatura ao longo da edificação. Deve-se utilizar um material de cobertura que apresenta boa eficiência térmica, além de utilizar cortinas para obter maior controle da temperatura interna e ventilação da edificação (SILVA et al., 2020; BAÊTA; SOUZA, 2012). Em decorrência do menor custo, os galpões abertos são comumente construídos. No entanto, estes são recomendados para regiões de condições climáticas mais amenas (AMARAL et al., 2016).

Para que as aves possam expressar toda sua potencialidade genética, o ambiente de criação é um dos fatores primordiais (DAMASCENO et al., 2010). Estes são animais homeotérmicos, ou seja, controlam e buscam manter constante a sua temperatura corporal interna, apesar das variações externas da temperatura do ambiente. No entanto, em casos em que o ambiente externo apresenta condições de temperatura que caracterizam desconforto térmico, haverá perdas na produtividade desse animal, que dependendo dos casos, pode diminuir ou aumentar consumo de ração, produção de ovos desuniformes e com menor espessura de casca (TINÔCO, 2001). De acordo com Baêta; Souza (2012), a zona de conforto térmico (ZCT) para galinhas está entre 18 e 28 °C, nessa faixa de temperatura ambiente, a temperatura corporal do animal permanece constante, não havendo frio nem calor, proporcionando condições ambientais ideais de produção. Assim, o acondicionamento térmico ambiental é fundamental para o sucesso da atividade avícola, e estratégias que contribuam para a definição destas práticas e para a melhoria do ambiente, são necessárias na maioria dos sistemas de produção.

Técnicas geoestatísticas estão sendo cada vez mais utilizadas na área de ambiência de precisão, como é o caso de estudos realizados por Medeiros et al. (2014) em galpão de suínos, Queiroz et al. (2017) e Curi et al. (2014) em galpões de frango de corte, Mota; Andrade (2019) em sistema de confinamento Compost Barn, entre outros estudos, os quais buscam identificar e propor melhorias na qualidade do ambiente para os animais de produção. Neste contexto, a geoestatística é uma ferramenta que permite a interpretação dos resultados baseada na estrutura de sua variabilidade natural, por meio do cálculo da dependência espacial (VIEIRA, 2000). Portanto, o conhecimento da variabilidade espacial de indicadores ambientais pode auxiliar na definição de técnicas construtivas e estratégias para acondicionamento térmico ambiental, contribuindo para uma otimização das práticas de manejo e no desenvolvimento de estratégias de condicionamento térmico que maximizam a eficiência produtiva das aves.

Assim, o presente trabalho realizado na região central do Rio Grande do Sul em período de inverno tem como objetivo que os resultados obtidos contribuam não apenas para melhorar o

bem-estar das galinhas poedeiras, mas também espacializar indicadores de conforto térmico para otimizar a produção, garantindo que as condições ambientais favoreçam a saúde e a produtividade das aves durante os rigorosos dias de inverno na região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma granja de produção de ovos localizada no município de Cachoeira do Sul, na região central do Rio Grande do Sul. O município está localizado entre as coordenadas 30° 0' 45" de latitude Sul, 52° 55' 11" de longitude Oeste, e o clima é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação climática de Köppen (MORENO, 1961).

Neste estudo foram avaliados quatro galpões (G), nas seguintes configurações:

1. Galpão 1 (G1) – orientação Leste-Oeste; sem cortina nas laterais que são abertas.
2. Galpão 2 (G2) – orientação Leste-Oeste, com cortina fechada em ambas as laterais.
3. Galpão 3 (G3) - orientação Norte-Sul; com cortina fechada na fachada Oeste, apenas.
4. Galpão 4 (G4) - orientação Norte-Sul; sem cortinas nas laterais que são abertas.

Os galpões possuem estrutura em madeira, sendo a frente e os fundos em alvenaria e telha de fibrocimento. Todos estão alocados lado a lado, sendo a distância entre galpões de aproximadamente 5 m. As medidas aproximadas são: 2,8 m de pé-direito, 3,0 m de largura e 95,0 m de comprimento. As aves estavam com idade acima de dezoito semanas de vida em ambos os galpões.

As avaliações foram realizadas no dia 18/08/2022 no período da tarde (entre 14 e 16 h). As condições ambientais externas durante a coleta foram as seguintes: umidade relativa do ar (UR) de 55%, temperatura do ar (Tar) de 19,2 °C e temperatura do globo negro (TGn) 19,7 °C. A temperatura da superfície das aves (Tsa) foi avaliada com termômetro infravermelho mirando o peito das aves e a Tar, TGn e UR coletadas por um termômetro do globo negro posicionado acima da gaiola que acomoda as aves. A coleta dos dados foi realizada em uma malha amostral de 5 x 5 m em relação a x (comprimento) e a 0,5 x 2,5 m em relação a y (largura). A partir dos dados coletados de temperatura e umidade calculou-se o índice de temperatura e umidade (ITU) pela equação proposta por Buffington et al. (1982).

Para a análise da variabilidade espacial dos indicadores de conforto térmico (Tsa, ITU e TGn) dentro dos galpões, realizou-se análise geoestatística, sendo o primeiro passo o ajuste do modelo teórico de semivariância e detectando a dependência espacial, no segundo passo, realizou-se a análise da validação cruzada. Selecionou-se o modelo que após este processo apresentou a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR) e fez-se a análise dos seguintes parâmetros dos variogramas: efeito pepita (C0), patamar (C0 + C) e alcance (A) e da validação cruzada: coeficiente de regressão (CR), intercepto (Y), erro padrão de predição (EPP) e coeficiente de determinação (R²). A interpolação dos mapas foi realizada utilizando o método da krigagem ordinária.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 estão apresentados os parâmetros referentes aos ajustes dos semivariogramas teóricos para as diferentes variáveis analisadas.

Tabela 1- Parâmetros dos semivariogramas teóricos referente à modelagem da dependência espacial dos indicadores de conforto térmico avaliados neste estudo.

Galpão 1						
	Modelo	C0	C0+ C	Alcance (m)	R ²	SQ R
Tsa (°C)	Exponencia	0,0			0,9	
	I	1	3,66	2,68	1	0,20
TGn (°C)	Exponencia	0,0			0,9	
	I	0	1,14	24,27	7	0,01
ITU	Exponencia	0,0			0,9	
	Gaussiano	4	1,64	75,21	8	1,41
Galpão 2						
Tsa (°C)	Exponencia	0,4			0,8	
	I	4	1,44	6,33	5	0,06
TGn (°C)	Exponencia	0,0			0,7	
	Gaussiano	3	0,15	20,23	9	0,02
ITU	Exponencia	3,0			0,9	
	I	0	31,11	101,00	7	0,88
Galpão 3						
Tsa (°C)	Exponencia	0,0			0,9	
	I	5	1,24	4,24	0	0,04
TGn (°C)	Exponencia	0,0			1,0	
	Gaussiano	0	0,04	42,91	0	0,00
ITU	Exponencia	0,0			0,9	
	Gaussiano	8	0,63	41,35	9	0,00
Galpão 4						
Tsa (°C)	Exponencia	0,0			0,9	
	I	5	1,24	4,24	0	0,04
TGn (°C)	Exponencia	0,0			0,2	
	Linear	1	0,01	40,22	7	0,38
ITU	Exponencia	9,0			0,9	
	Gaussiano	0	31,11	101,00	7	0,81

Legenda: Tsa: temperatura da superfície das aves (°C); TGn: temperatura do globo negro (°C); ITU: índice de temperatura e umidade; Alcance (m); C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; SQR: Soma de quadrados do resíduo; R²: Coeficiente de determinação.

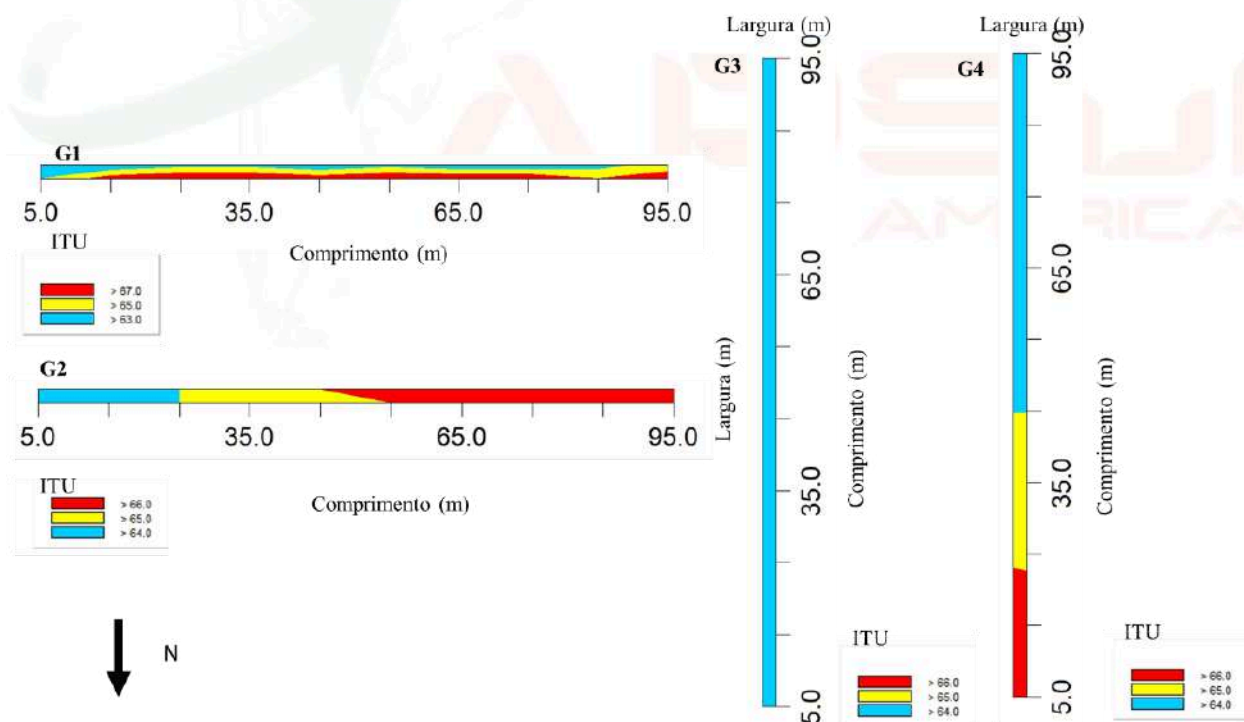
Fonte: Autores (2023)

O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante para a interpretação dos semivariogramas, porque indica a distância máxima até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, quanto maior o alcance, maior a homogeneidade entre as amostras (VIEIRA et al., 2010). No caso deste estudo, os maiores valores de alcance foram observados para a TGn e ITU (de 20,23 a 101 m) que são variáveis relacionadas ao ambiente térmico, portanto, mais estáveis. Enquanto, para a Tsa os valores de alcance foram mais baixos, entre 2,68 e 6,33 m, que pode ser atribuído à maior heterogeneidade desta variável, que é dependente do comportamento dos animais (movimentação, interação, alimentação, entre outros aspectos).

Nas figuras 1, 2 e 3 são apresentados os mapas de variabilidade espacial dos atributos ITU, TGn e Tsa, respectivamente. As condições de baixa temperatura do ambiente externo, mesmo no período da tarde, quando foi realizada as avaliações, também, se mantiveram no interior dos galpões, em que valores de ITU inferiores a 67, TGn menor que 22°C e Tsa menor que 27°C podem ser indicativos de estresse por frio. Os valores de referência de ITU para conforto térmico estão entre 71 e 75 (BARBOSA FILHO, 2004). A Tsa considerada normal para uma ave adulta está entre 40 e 42°C (CURTIS, 1983). Alves et al. (2012), utilizaram imagens para analisar as consequências do estresse por frio em galinhas de postura e concluíram que estas gastam quatro vezes mais energia que aves em situação de conforto, somente para termo regular-se.

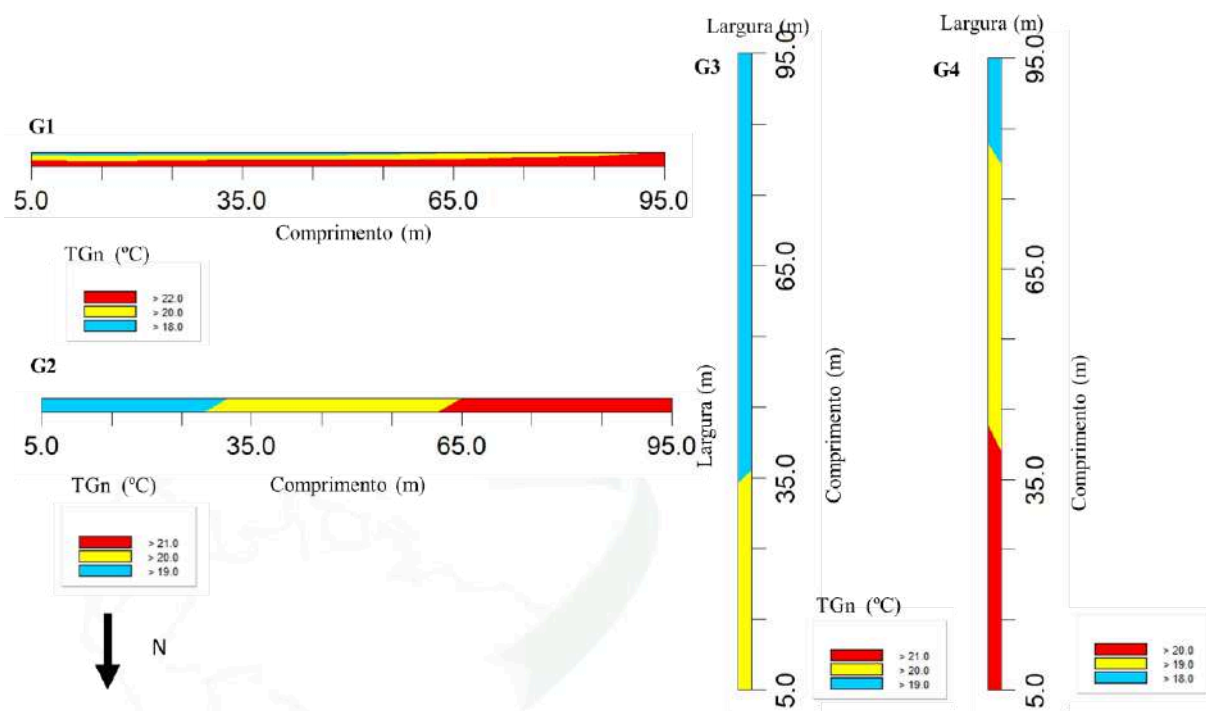
Observa-se variabilidade espacial de todos os indicadores de conforto avaliados em todos os galpões (Figuras 1 a 3), com exceção do ITU no G3 (Figura 1). Nota-se que para o ITU e TGn, que são parâmetros relacionados ao ambiente térmico (radiação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento), há uma tendência de maior resfriamento na extremidade Sul dos galpões (G3 e G4), característica típica da orientação solar Norte - Sul, não recomendada para o hemisfério Sul. Ademais, observa-se que quando não há o uso de cortinas, mesmo com a orientação recomendada Leste - Oeste, a lateral Sul é mais fria (G1). Segundo Emrich; Curi (2017), a orientação do galpão avícola de ser sempre no sentido Leste-Oeste para impedir que o sol adentra a instalação durante o dia e que incidência de radiação solar seja desuniforme ao longo do galpão, condição está atendida no G1 e G2.

Figura 1 – Mapa temático do índice de temperatura e umidade (ITU) no interior dos diferentes galpões analisados.



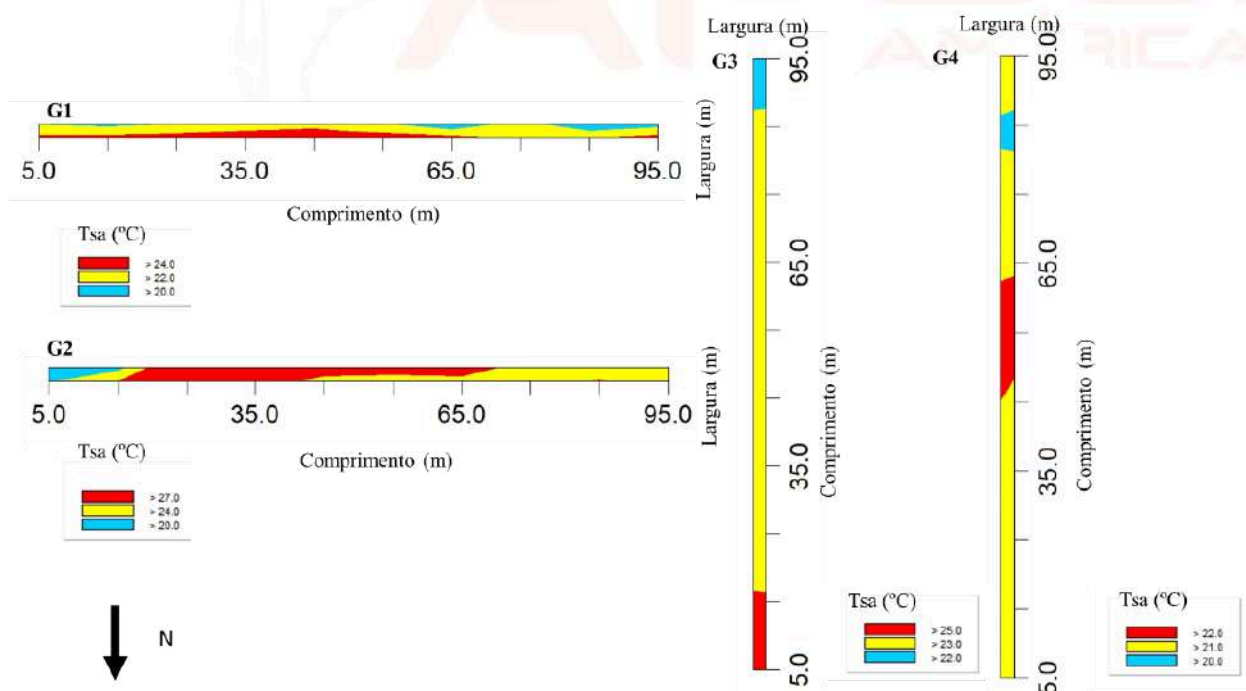
Fonte: Autores (2023)

Figura 2 – Mapa temático da temperatura do globo negro (TGn) no interior dos diferentes galpões analisados.



Fonte: Autores (2023)

Figura 3 – Mapa temático da temperatura da superfície das aves (Tsa) no interior dos diferentes galpões analisados.



Fonte: Autores (2023)

A Tsa (Figura 3) é uma variável que está relacionada ao ambiente térmico e ao comportamento das aves, que pode ser em relação a sua movimentação, o acesso ao comedouro e ao bebedouro, a idade das aves, mesmo que para este estudo tenha se buscado um padrão de todas estarem acima de 18 semanas de vida, pode haver alguma variação. Assim, nota-se que para o G1 o padrão da Tsa foi similar ao do ITU e da TGn, enquanto. Contudo, para os demais galpões não se confirma esta tendência. Todos os galpões foram divididos em três classes em relação a este parâmetro. No G2 teve uma boa área do galpão, entre 10 e 70 m de comprimento (vermelho), com Tsa um pouco mais elevada ($>27^{\circ}\text{C}$), ou seja, indicativo de menor estresse térmico por frio. Pois, nos demais galpões os valores Tsa estão muito abaixo do esperado para animais adultos. Destaca-se, também, que no G3 (cortina na fachada oeste) há uma maior parte do galpão entre 10 e 97 m, com animais em uma mesma classe de Tsa (entre 23 e 25°C). Demonstrando que a cortina pode ser uma estratégia para a melhoria da uniformidade da temperatura dentro dos galpões, além de contribuir para um maior aquecimento em dias frios, como este que foi avaliado. O estresse por frio desencadeia o comportamento de agrupamento das aves e o aumento do consumo de ração, visto que aproximadamente 80% da energia ingerida é utilizada para manutenção da homeotermia e 20% é utilizada para produção (ABREU; ABREU, 2011).

O uso de cortinas laterais, além de promover maior aquecimento na parte interior do aviário, especialmente quando orientado Leste-Oeste, também, modifica o padrão da variabilidade espacial dos indicadores avaliados (Figura 1 e 2). Em galpões com uma mesma orientação solar (Leste – Oeste), como o caso do G2 (com cortina) em comparação ao G1 (sem cortina), o uso da cortina fez com que a variabilidade espacial do ITU e da TGn passe a ser apenas no sentido do comprimento do galpão e não mais na largura ou largura e comprimento. Mas ainda assim, as condições do ambiente ficam estratificadas em 3 classes dentro do galpão. Comparando o G3 e G4 (orientação Norte-Sul), nota-se que a cortina fechada no G3, mesmo que apenas na fachada oeste, permitiu uma única classe de ITU e reduziu a variabilidade da TGn de 3 classes do G4 para 2 classes do G3.

4. CONCLUSÕES

As ferramentas utilizadas neste estudo permitiram espacializar os indicadores de conforto térmico (índice de temperatura e umidade, temperatura do globo negro e temperatura da superfície das aves) nos quatro galpões avaliados, sendo possível identificar até três classes ambientais distintas dentro das edificações.

A variabilidade espacial está relacionada a orientação solar e a presença de cortinas nas estruturas, sendo o galpão orientado Leste-Oeste e com cortina nas duas laterais, o que apresentou uma menor amplitude de valores de índices de conforto térmico e a maior área com animais com temperatura mais próxima da adequada.

REFERÊNCIAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual**. 2021. Disponível em: <https://abpa-br.org/relatorios>. Acesso em: 04 jan. 2023.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, p.1-14, 2011 (supl. especial).

ALVES, S. P.; SILVA, I. J.O.; PIEDADE, S. M. S.. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras comerciais: efeitos do sistema de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 1388-1394, 2007.

AMARAL, G.F.a et al. **Avicultura de postura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES**. 2016. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9579/3/BS%2043%20Avicultura%20de%20postura_estrutura%20da%20cadeia%20produtiva_corrigido_P_BD.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: Conforto animal**. 2.Ed. Viçosa: EDUFV, 269p, 2012.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; SILVA, M. A. N.; SILVA, I. J. O.; COELHO, A. A. D. Egg quality in layers housed in different production systems and submitted to two environmental conditions. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.8, p.23-28, 2006.

BARBOSA FILHO, J.A. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras em diferentes sistemas de produção e condições ambientais, utilizando análise de imagens. **Dissertação Mestrado** (mestre em agronomia). Piracicaba: ESALQ/USP.123p 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-11052005-144156/publico/jose>. Acesso em: 10 dez. 2022.

BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J.; CANTON, G. H. **Shede management systems to reduce heat stress for dairy cows**. St. Joseph: American Society of Agricultural engineers, p. 16 (PAPER 82-4061), 1982.

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; RIGHI, E.Z.; BRESSAN, V.C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.2, p.223-230, fev, 2015.

CURI, TM. R. de C; VERCELLINO, R.A.; MASSARI, J.M.; SOUZA, Z.M.; MOURA, D.J. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1062-1074, Dec. 2014.

CURTIS, S. E. **Enviromental management in animal agriculture**. The Iowa State University: Ames, 1983. 410p.

DAMASCENO, F. A.; SCHIASSI, L.; SARAZ, J.A.O.; GOMES, R. C.C.; BAÊTA, F.C. **Concepções arquitetônicas das instalações utilizadas para a produção avícola visando o conforto térmico em climas tropicais e subtropicais**. PUBVET, Londrina, V. 4, N. 42, Ed. 147, Art. 991, 2010. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/index>. Acesso em: 16 abri. 2023.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretária da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, 30 p. Fábio Ziemann Lopes; Gilberto Barbosa Diniz & Júlio Renato Marques, 1961.

MEDEIROS, B. B. L.; MOURA, D. J. M.; MASSARI, J. M.; CURI, T. M. R. C.; MAIA, A.P. Uso da geoestatística na avaliação de variáveis ambientais em galpão de suínos criados em sistema "wean to finish" na fase de terminação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 800-811, 2014.

QUEIROZ, M.L.V.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; SALES, F.A.L.; LIMA, L.R.; DUARTE, L.M. Variabilidade espacial do ambiente em galpões de frango de corte com sistema de nebulização. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 48, n. 4, p. 586-595, out-dez, 2017.

SILVA, I. D. O., de ABREU, P. G., & MAZZUCO, H. **Manual de boas práticas para o bem-estar de galinhas poedeiras criadas livres de gaiolas criadas livres de gaiola**. Iran José Oliveira da Silva, Paulo Giovanni de Abreu, Helenice Mazzuco - 1. ed. Concórdia: Suínos e Aves, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1127416/1/Cartilha.pdf> Acesso em: 10 dez. 2022.

VIEIRA, S.R, GUEDES FILHO, O, CHIBA, M.K, MELLIS, E.V., DECHEN, S.C.F. & DE MARIA, I.C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, n. 5, 2010.



ESTIMATIVA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE FINAL DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL EM ANOS DE LA NIÑA PARA SOLOS DE TEXTURA MÉDIA

Estimation of the spatial variability of the final soybean yield in Rio Grande do Sul in La Niña years for medium texture soils

Vitor Maus Spies¹; Zanandra Boff de Oliveira²; Gustavo Henrique Aguiar Alves¹; Ricardo Braga Rosa¹; Rafaela Fauth Bisol¹; Bruna Rathke²

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Rod. Taufik Germano nº 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, vitorspies@gmail.com, gustavo_henriqueaa@hotmail.com
ricardo201821377brosa@gmail.com ; rafaelabisol0@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria, Programa De Pós-Graduação Em Agricultura De Precisão Colégio Politécnico - Prédio 70, Santa Maria - – Rio Grande do Sul, Brasil, zanandrabofoff@gmail.com, agronomabrunarathke@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar a variabilidade espacial da produtividade de soja no estado do Rio Grande do Sul em anos de La Niña, para solos de textura média, visando auxiliar na tomada de decisão para datas de semeadura mais assertivas em cada local. A estimativa da produtividade final da soja foi realizada pelo aplicativo SISDAGRO INMET para datas de semeadura com intervalo de 7 dias entre novembro e dezembro para os anos agrícolas 2019/20, 2020/21, 2021/22 em 47 municípios do RS. Elaborou-se mapas temáticos com a média do percentual de produtividade final por meio krigagem ordinária. Observou-se dependência espacial da variável analisada, sendo possível dividir o estado em três classes em função da produtividade final da soja, sendo a região de maior altitude (-52 a -50° O de longitude e -29 a -27° S de latitude) a que apresentou maior percentual, uma faixa de municípios com altitude intermediária (-53 a -51° O de longitude e -30 a -27° S de latitude) e parte da região extremo sul com potencial intermediário e a maior parte do território (-57 a -49° O de longitude e -33 a -27° S de latitude) com produtividade inferior. Em maior parte do território as maiores produtividades acontecem para a semeadura no dia 27/12.

Palavras-chave: Geoestatística. Déficit hídrico. *Glycine max*. S

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the spatial variability of soybean productivity in the state of Rio Grande do Sul in La Niña years, for medium-textured soils, aiming to assist in decision-making for more assertive sowing dates in each location. The estimate of final soybean productivity was carried out using the SISDAGRO INMET application for sowing dates with an interval of 7 days between November and December for the agricultural years 2019/20, 2020/21, 2021/22 in 47 municipalities in RS. Thematic maps were prepared with the average percentage of final productivity using ordinary kriging. Spatial dependence of the analyzed variable was observed, making it possible to divide the state into three classes depending on the final productivity of soybeans, with the region having the highest altitude (-52 to -50° W longitude and -29 to -27° S latitude) the one with the highest percentage, a band of municipalities with intermediate altitude (-53 to -51° W in longitude and -30 to -27° S in latitude) and part of the extreme south region with intermediate potential and most of the territory (-57 to -49° longitude and -33 to -27° S latitude) with lower productivity. In most of the territory, the highest yields occur for sowing on 12/27.

Keywords: Geostatistics. Water deficit. *Glycine max*.

1. INTRODUÇÃO

A soja é a principal cultura de verão do estado do Rio Grande do Sul. Segundo a United States Department of Agriculture (2023), na safra de 2021/2022 a produção mundial da oleaginosa foi de 358.140 milhões de toneladas, com uma área plantada com cerca de 131.07 milhões de hectares. Atualmente no ranking mundial de produtores de soja, o Brasil ocupa a primeira colocação com cerca de 129.50 milhões de toneladas colhidas em uma área de 41.50 milhões de hectares cultivadas. O estado do Mato Grosso é o maior produtor de soja brasileiro com cerca de 39.961 milhões de toneladas produzidas do grão em 10.909 milhões de hectares, seguido do Paraná. O Rio Grande do Sul é o terceiro estado mais produtivo do país com 9.727 milhões de toneladas, possuindo uma área cultivada de 6.358 milhões de hectares (EMBRAPA, 2023 a).

Segundo Cagnin (2022), embora com as grandes conquistas no âmbito econômico e tecnológico, a cultura da soja ainda enfrenta muitos desafios, com destaque aos fatores climáticos. A produtividade agrícola sempre está sujeita a ação de adversidades climáticas, tais como temperaturas elevadas ou baixas, pouca luminosidade e excesso ou falta de chuvas, onde a escassez de precipitação é o fator mais limitante para a produção de soja (FIOREZE et al., 2011).

São comuns as perdas anuais em produtividade devido à falta de chuva durante o ciclo da cultura, principalmente na região Sul do Brasil (SILVA, 2013). Nas áreas não irrigadas no Rio Grande do Sul, a variabilidade das chuvas tem sido apontada como a principal causa das oscilações de rendimento na produtividade de grãos (BERGAMASCHI et al., 2004). Para a produtividade da soja atingir bons resultados, a disponibilidade de água é um dos fatores mais importantes. Portanto, dependendo das condições climáticas do local, são necessários entre 450 e 800 mm de água no solo durante o ciclo fenológico da oleaginosa (DOORENBOS; KASSAN, 1994).

O Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO) (INMET) disponibiliza ferramentas de monitoramento agrometeorológico, entre eles, o balanço hídrico e perda de produtividade por deficiência hídrica, considerando sistemas cultivados em sequeiro ou irrigado dos principais cultivos de importância econômica ao agronegócio brasileiro (algodão, arroz, aveia, café, cana-de-açúcar, citros, feijão, girassol, milho, soja e trigo). Esta ferramenta contribui para o planejamento e tomada de decisão mais assertiva a respeito de datas de semeadura e a espacialização do potencial de produtividade do território gaúcho. Ela também auxilia na tomada de decisão a respeito da gestão de recursos hídricos e para a estimativa da necessidade de irrigação. Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar mapas de variabilidade espacial da estimativa da produtividade final (%) da soja no estado de RS, em anos de La Niña, para solos de textura média, visando contribuir na tomada de decisão sobre a data de semeadura mais assertiva, a que propicie mais percentual de produtividade da soja, em cada local do estado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

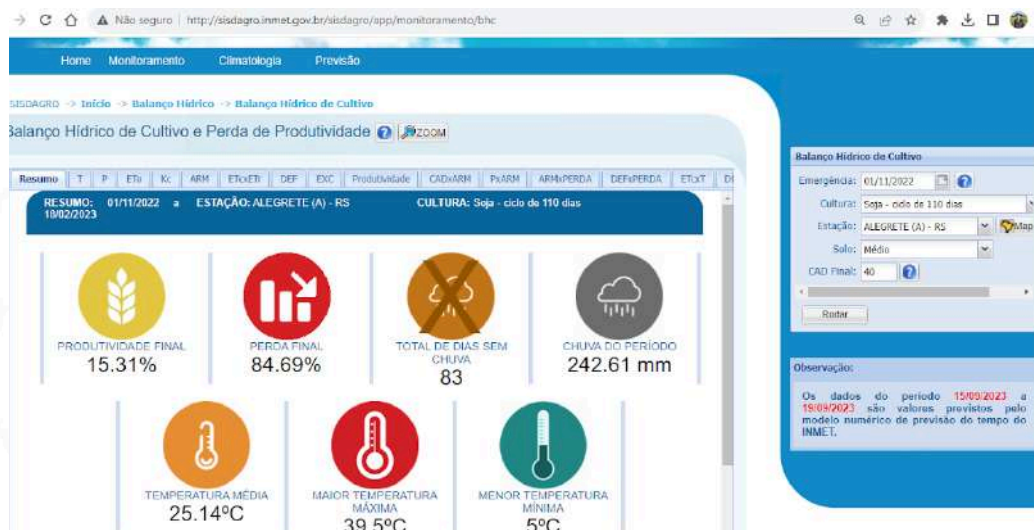
A estimativa da produção (%) da soja foi realizada para os anos agrícolas 2019/20; 2020/21 e 2021/22 (La Niña) nos 47 municípios do estado do RS que possuem estação meteorológica vinculadas ao INMET utilizando o aplicativo SISDAGRO: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhc>.

Para isso, foram escolhidas datas de semeadura de novembro a dezembro definidas a partir do zoneamento agrícola de risco climático para a cultura da soja (PORTARIAS SPA/MAPA Nº S 370 À 372, DE 27 DE JUNHO DE 2023), considerando os solos com água disponível de 2 a

4, para contemplar o solo de textura média no SISDAGRO, o qual considera o tipo de solo como: textura arenosa, média e argilosa.

A estimativa da produtividade é feita por meio de modelos matemáticos que visam simular e estabelecer relações entre as condições de crescimento das culturas e duas produtividades, baseados em processos físicos e fisiológicos. O INMET utiliza o modelo de penalização por déficit hídrico, sendo a penalização final calculada conforme o modelo de Doorenbos e Kassam (1994) e acumulada em passo de tempo decendial. A figura 1 ilustra a tela de simulações.

Figura 1 – Tela de simulação do modelo SISDAGRO (INMET).



Fonte: INMET (2023).

Os dados de entrada no aplicativo foram os seguintes:

- 1- Data de semeadura da cultura: 1/11; 8/11; 15/11; 22/11; 29/11; 6/12; 13/12; 20/12 e 27/12;
- 2- Cultura (duração do ciclo): soja com ciclo de 130 dias;
- 3- Estação meteorológica (Local): 47 municípios que possuem estações meteorológicas vinculadas ao INMET (Tabela 1);
- 4- Solo: textura média.

A partir do banco de dados gerados da estimativa da produtividade final da soja (%) realizou-se a análise geoestatística e os mapas de variabilidade espacial para cada data de semeadura utilizando-se o software GS+. A dependência espacial da variável no território gaúcho foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, conforme Vieira et al. (2000). Primeiramente foram testados os seguintes modelos: linear com patamar, gaussiano, esférico e exponencial. Após o ajuste do modelo teórico de semivariância, realizou-se a análise da validação cruzada, a fim de quantificar o erro de predição do modelo. Selecionou-se o modelo que, após este processo apresentou a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR) e fez-se a análise dos seguintes parâmetros dos variogramas: efeito pepita (C0), patamar (C0 + C) e alcance (A) e da validação cruzada: coeficiente de regressão (CR), intercepto (Y), erro padrão de predição (EPP) e coeficiente de determinação (R²).

Tabela 1 – Local e coordenadas geográficas para quais foram feitas as simulações.

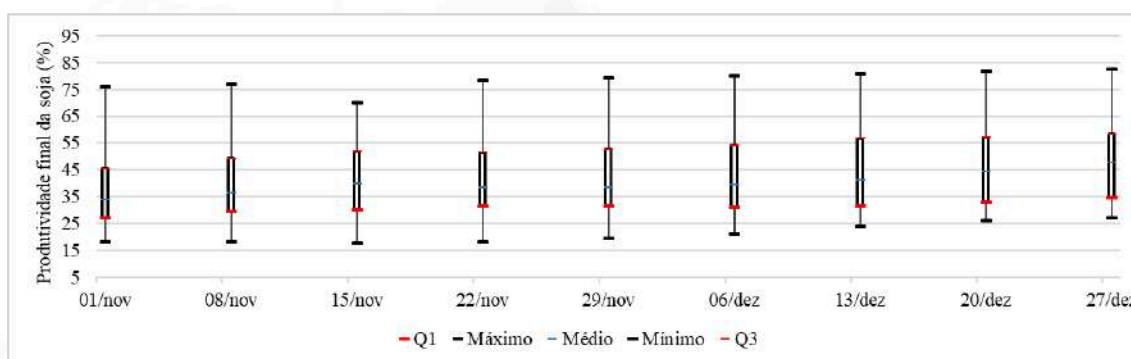
Local	Latitude	Longitude
Alegrete	-55,53	-29,71
Bagé	-54,01	-31,35
Bento Gonçalves	-51,53	-29,17
Bom Jesus	-50,44	-28,67
Caçapava do Sul	-53,47	-30,55
Camaquã	-51,83	-30,81
Cambara do Sul	-50,15	-29,05
Campo Bom	-51,06	-29,67
Canela	-50,83	-29,37
Canguçu	-52,70	-31,41
Caxias do sul	-50,99	-29,14
Chuí	-53,37	-33,74
Cruz Alta	-53,67	-28,60
Dom Pedrito	-54,62	-31,00
Encruzilhada do sul	-52,52	-30,54
Erechim	-52,31	-27,66
Frederico Westphalen	-53,41	-27,40
Ibirubá	-53,11	-28,65
Irai	-52,64	-27,09
Jaguarão	-53,38	-32,54
Lagoa Vermelha	-51,51	-28,22
Mostardas	-50,91	-31,25
Palmeira das Missões	-53,32	-27,92
Passo Fundo	-52,40	-28,23
Pelotas	-52,51	-31,80
Porto Alegre	-51,17	-30,05
Quarai	-56,44	-30,37
Rio Grande	-52,10	-32,03
Rio Pardo	-52,38	-29,87
Santa Maria	-53,70	-29,71
Santa Rosa	-54,48	-27,89
Santa Vitória do Palmar	-53,37	-33,74
Santana do Livramento	-55,61	-30,84
Santiago	-54,89	-29,19
Santo Augusto	-53,79	-27,85
São Borja	-56,02	-28,65
São Gabriel	-54,31	-30,34
São José dos Ausentes	-50,06	-28,75
São Luiz Gonzaga	-54,96	-28,42
Soledade	-52,56	-28,85
Teutônia	-51,82	-29,45
Torres	-49,73	-29,35
Tramandaí	-50,14	-30,01
Triunfo	-51,83	-29,79
Uruguaiana	-57,08	-29,84
Vacaria	-50,88	-28,51

Fonte: Autores (2023)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2 é possível observar que os dados médios de produtividade final estimados são crescentes à medida que ocorre o atraso da semeadura de 1/11 para 27/12. A dispersão dos dados (intervalo interquartil) é menor para as datas de semeadura no mês de novembro. Uma menor diferença entre valores mínimos e máximos acontece para as datas de semeadura de 15/11, 20/12 e 27/12. De um modo geral, ocorre uma diferença maior entre a mediana e os valores máximos, bem como, uma maior diferença interquartil da mediana para o terceiro quartil, demonstrando que produtividade estimada é maior que a média em um maior número de locais amostrados.

Figura 2 – Boxplot da produtividade final da soja estimada para diferentes datas de semeadura em anos de La Niña.



Fonte: Autores (2023)

Na tabela 2 estão apresentados os resultados do ajuste dos modelos teóricos de semivariância. O modelo gaussiano foi o que melhor ajustou a semivariância experimental. O alcance da dependência espacial variou entre 790 e 1487 km. Segundo Corá et al. (2004), o valor do alcance determina o número de valores usados na interpolação, portanto, podem influenciar na qualidade das estimativas. Desta forma, estimativas feitas com interpolação por krigagem ordinária, utilizando valores de maiores alcances, tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representam melhor a realidade. Todavia, o erro padrão de predição foi relativamente elevado, entre 2,05 e 5,21, razão pela qual utilizou-se uma escala com intervalo de 10 para a elaboração dos mapas temáticos (Figura 3).

Os mapas temáticos (Figura 3) demonstram que com exceção da semeadura em 1/11, para as demais datas de semeadura, a variabilidade da estimativa da produtividade final da soja é bem similar no território gaúcho. Sendo a região de maior altitude (-52 a -50° O de longitude e -29 a -27° S de latitude) a que apresentou maior percentual de produtividade, uma faixa de municípios com altitude intermediária (-53 a -51° O de longitude e -30 a -27° S de latitude) e parte da região extremo sul com potencial intermediário e, a maior parte do território (-57 a -49° O de longitude e -33 a -27° S de latitude) apresentou produtividade inferior. Conforme Kuinchtner e Buriol (2021), as regiões onde mais chove no estado são a Serra do Nordeste e em partes do Planalto e Missões, enquanto as regiões que chove menos são Baixo Vale do Uruguai; Campanha, litoral, leste da Depressão central.

Há similaridade entre o padrão espacial da produtividade final da soja estimada (Figura 3) e a anomalia de chuvas (Figura 4) em anos de La Niña (FONTANA; BERLATO, 1997), ocorrendo maiores produtividades em regiões onde a anomalia é menor. Assim, nota-se a importância de

avaliar a relação de produtividade para diferentes datas de semeadura em função da oscilação do Pacífico Equatorial (ENOS), que modifica o padrão das chuvas no RS. Situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média normal histórica.

Tabela 2 - Parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas e da análise de validação cruzada referente aos modelos teóricos para a modelagem da dependência espacial da produtividade final da soja em diferentes datas de semeadura em anos de La Niña.

Parâmetros de ajuste dos variogramas					
Data de semeadura	Modelo	Co	Co+C	Ao	R ²
1/11	Gaussiano	121	552	808,1	0,85
8/11	Gaussiano	119	548	811,4	0,86
15/11	Gaussiano	111	532	874,7	0,85
22/11	Gaussiano	120	550	818,1	0,88
29/11	Gaussiano	136	582	791,4	0,90
6/12	Gaussiano	140	590	840,3	0,93
13/12	Gaussiano	144	598	936,8	0,84
20/12	Gaussiano	150	510	932,4	0,95
27/12	Gaussiano	165	540	1487,4	0,98
Parâmetros da validação cruzada					
Data de semeadura	CR	SE	R ²	Y	EPP
1/11	1,16	0,33	0,30	-4,10	5,00
8/11	1,15	0,32	0,30	-3,34	3,20
15/11	1,13	0,30	0,27	-3,49	3,50
22/11	1,08	0,32	0,23	-2,03	5,21
29/11	1,11	0,27	0,30	-3,36	2,90
6/12	1,10	0,28	0,30	-2,90	2,70
13/12	1,06	0,31	0,25	-2,77	2,20
20/12	1,11	0,27	0,29	-2,90	2,20
27/12	1,14	0,25	0,34	-3,75	2,05

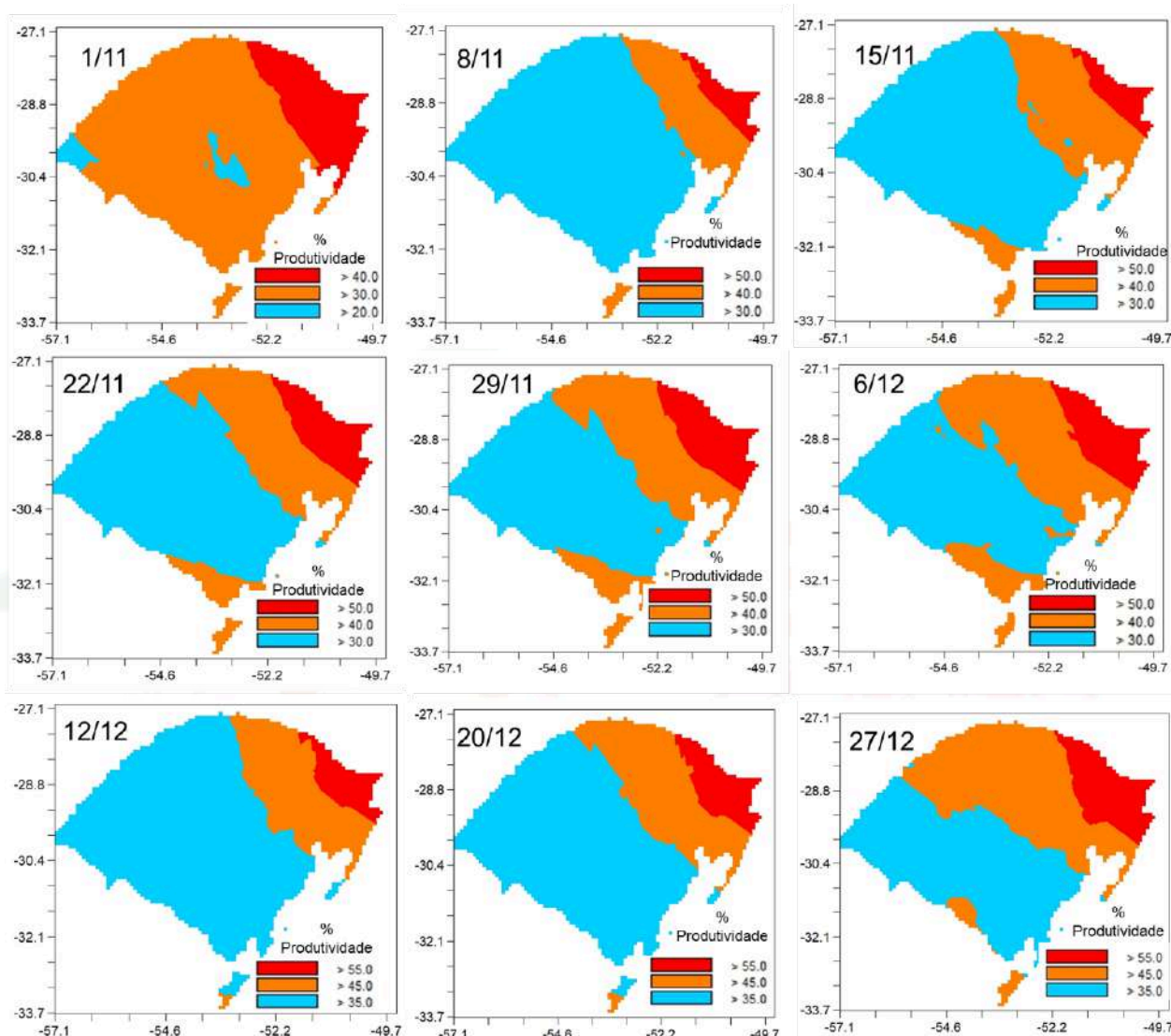
Em que: Ao: alcance (km); Co+c: patamar; c: efeito pepita; R²: de determinação; CR: coeficiente de regressão; SE: erro padrão; y: Intercepto eixo; EPP: Erro padrão de predição.

Fonte: Autores (2023)

Maiores percentuais de produtividade final foram estimados para semeadura mais tardias, em dezembro. Inclusive, a maior parte do território encontra-se com maiores valores de percentual de produtividade para a semeadura mais tardia, entre as avaliadas, em 27/12. Tal resultado (Figuras 2 e 3), pode estar relacionado à melhor distribuição e quantidade de chuvas durante o ciclo da cultura da soja, para a semeadura mais tardia. Segundo Matzenauer et al. (2017), que avaliaram a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial anual, estacional e mensal em 28 localidades do Estado do Rio Grande do Sul em relação ao fenômeno ENOS, em eventos La Niña chove menos na primavera, mas as chuvas são em maior quantidade que em anos neutros em janeiro e chove mais em março. Na soja, o período reprodutivo é o mais sensível ao déficit hídrico. A necessidade de água na cultura aumenta conforme o seu desenvolvimento, atingindo o máximo no florescimento-enchimento de grãos e decrescendo posteriormente. Déficit hídrico expressivo em tais períodos causa queda prematura de folhas e flores e abortamento de vagens, além de

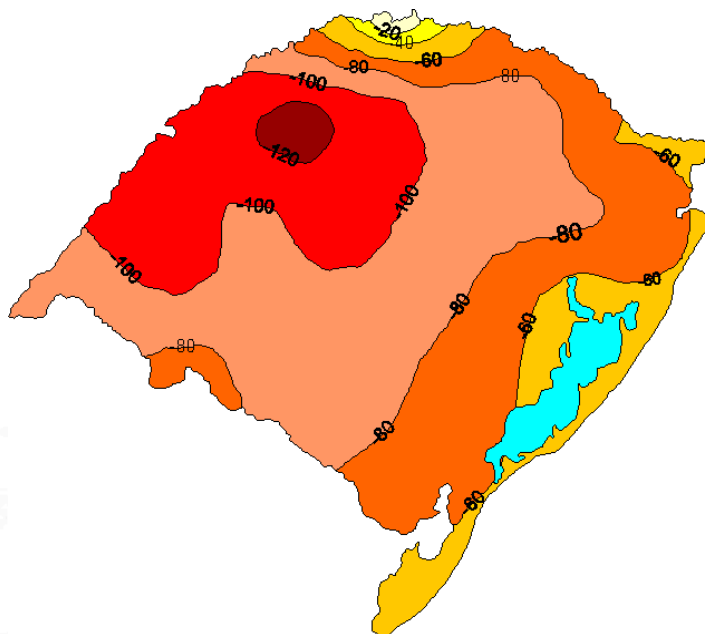
reduzir a produtividade de grãos (FIETZ; URCHEI, 2002). Assim, para a semeadura mais tardia, em meados e final de dezembro, no período reprodutivo (floração e enchimento de grãos), as chuvas tendem a ser em maior quantidade e voltar a regularidade, potencializando a produtividade da cultura.

Figura 3 – Mapas temáticos da estimativa da produtividade final da soja médias para as últimas três Lã Niñas em diferentes datas de semeadura no RS.



Fonte: Autores (2023)

Figura 4 – Isolinhas de anomalias de chuvas (mm) em outubro e novembro durante anomalias negativas, no Rio Grande do Sul (Adaptado de Fontana; Berlato - 1997)



Fonte: (Embrapa, 2023 b)

4. CONCLUSÃO

Observou-se dependência espacial do percentual de produtividade final da soja, sendo possível dividir o estado do Rio Grande do Sul em três classes em função desta variável. A variabilidade do percentual de produtividade final da soja foi muito similar para as diferentes datas de semeadura avaliadas, sendo a região de maior altitude (-52 a -50° O de longitude e -29 a -27° de latitude S) a que apresentou maior percentual de produtividade estimada, uma faixa de municípios com altitude intermediária (-53 a -51° O de longitude e -30 a -27° de latitude S) e parte da região extremo sul com potencial intermediário e, a maior parte do território (-57 a -49 ° de longitude S e -33 a -27° de latitude S) apresentou produtividade inferior às demais. Em maior parte do território as maiores produtividades acontecem para a semeadura mais tardia, entre as avaliadas, no dia 27/12.

A partir dos resultados apresentados os produtores podem escolher a data de semeadura para que a produtividade da soja seja maximizada em anos de La Niña, principalmente os produtores que não utilizam irrigação. Ademais, é possível adequar o nível de investimento na lavoura a partir de uma estimativa de produtividade para aquela data de semeadura, para que seja possível maior rentabilidade com a cultura da soja, mesmo em condições adversas.

REFERÊNCIAS

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.

CAGNIN, P. R. **O Mercado de soja.** 2022. Disponível em <
https://repositorio.pucsp.br/jspui/bitstream/handle/27734/1/Pedro%20Roberto%20Cagnin_Pedro%20Roberto%20Cagnin.pdf>. Acesso em 21 de ago.de 2023.

CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua em rendimento de los cultivos.** Campina Grande: UFPB, 1994. (FAO, Estudos de irrigação e drenagem, 33).

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2022/23).** 2023. Disponível em <
<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 21 de agosto de 2023. (a)

EMBRAPA. **La Niña e a agricultura no sul do Brasil.** Disponível em:
<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/agromet/el ninolanina/plantar.html>. Acesso em: 27 de agosto de 2023. (b)

FIETZ, C.R.; URCHER, M.A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 262-265, 2002.

IOREZE, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, p. 342-349, 2011

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria**, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J.R.T. O FENÔMENOS ENOS E O REGIME DE CHUVAS NO RIO GRANDE DO SUL. **Revista da sociedade brasileira de agrometeorologia**, v. 25, n. 2 p. ISSN 2526-7043, 2017.2017.

SILVA, R.R.D. **Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja no município de Ibirubá-RS.** 2013. Disponível em:
<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9410/SILVA%2c%20ROBSON%20RIGAO%20DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 de agosto de 2023.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 1-53, 2000.

AMPLIANDO AS FRONTEIRAS DO MONITORAMENTO DE LAVOURAS: IMAGENS SAR EM PERÍODOS DE ALTA NEBULOSIDADE

EXPANDING THE FRONTIERS OF CROP MONITORING: SAR IMAGES IN PERIODS OF HIGH CLOUDY

Renan Francisco Rimoldi Tavanti¹; Douglas Pedrini¹; Guilherme Morais¹

¹ SLC Agrícola, Av. Dr. Nilo Peçanha – 2900, 91330-001, Porto Alegre – Rio Grande do Sul, Brasil

renan.tavanti@slcagricola.com.br

douglas.pedrini@slcagricola.com.br

guilherme.morais@slcagricola.com.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar a correlação espacial entre as bandas e os índices de vegetação (IV) obtidos por imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*) com o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) na fase de maturação da soja, utilizando técnicas de correlação linear e aprendizado de máquina. O estudo foi conduzido durante a safra 2022/23 em três fazendas de produção de soja localizadas nos estados do Mato Grosso, Bahia e Piauí. Imagens dos satélites Sentinel-1 e *Planet Scope* foram adquiridas durante o período de maturação da soja. Foram realizadas análises estatísticas descritivas e de correlação monotônica de *Spearman*. Um modelo para previsão do NDVI foi proposto para identificar as relações com os índices calculados pelas bandas SAR. Os resultados indicaram correlações moderadas e positivas entre as bandas das imagens SAR e o NDVI. Também se observou que o modelo proposto foi ajustado aos dados de treinamento com alta precisão (R^2 ajustado: 0,95). Os resultados dos testes e validação indicaram precisão nas estimativas, demonstrando ser um método promissor para a utilização de imagens SAR na agricultura de precisão.

Palavras-chave: Bandas polarimétricas. *Random Forest*. *Machine learning*.

ABSTRACT

The objective of this study was to assess the spatial correlation between bands and vegetation indices (VI) obtained from Synthetic Aperture Radar (SAR) images and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) during the soybean maturation phase, using linear correlation techniques and machine learning. The study was conducted during the 2022/23 crop season on three soybean production farms located in the states of Mato Grosso, Bahia, and Piauí, Brazil. Images from the Sentinel-1 and Planet Scope satellites were acquired during the soybean maturation period. Descriptive statistical analyses and Spearman's monotonic correlation were performed. A model for predicting NDVI was proposed to identify the relationships with indices calculated from SAR bands. The results indicated moderate and positive correlations between SAR image bands and NDVI. Additionally, it was observed that the proposed model was well-fitted to the training data with high accuracy (Adjusted R-squared: 0.95). The results of testing and validation indicated accuracy in the estimates, demonstrating it to be a promising method for the use of SAR images in precision agriculture.

Keywords: Polarimetric bands. *Random Forest*. *Machine learning*.

1. INTRODUÇÃO

Imagens de satélite são ferramentas digitais úteis na agricultura de precisão, tanto para o monitoramento das lavouras quanto ao direcionamento do manejo localizado de alguns insumos. As imagens tradicionalmente utilizadas são obtidas por meio de sensores ópticos que operam em faixas do espectro eletromagnético visível (vermelho ~630-690 nm; verde ~520-600 nm; e azul ~450-520 nm) e infravermelho próximo (~760-900 nm). Esses comprimentos de onda têm sido amplamente empregados na agricultura para calcular índices de vegetação (IV) e monitorar as mudanças na cobertura vegetal (Parente et al., 2019; Plant et al., 2001). Os IV inferem indiretamente em alguns parâmetros relacionados à saúde e ao desenvolvimento das plantas, como a atividade da clorofila, a produção de biomassa e o teor de água nas plantas. Um índice amplamente conhecido e utilizado na agricultura é o NDVI (do inglês, *Normalized Difference Vegetation Index*). Esse índice está relacionado à quantidade de clorofila presente nas plantas, embora não meça diretamente a concentração de clorofila. É uma medida que utiliza a diferença entre a reflectância da luz infravermelha próxima (NIR - *Near Infrared*) e a luz visível para inferir informações sobre a saúde e a densidade da vegetação (Gitelson et al., 2014). Dessa forma, é possível direcionar doses ajustadas de fertilizantes e outros produtos químicos localmente, de acordo com o vigor vegetativo da cultura.

Quando se trata de culturas anuais cultivadas em larga escala, um dos principais desafios no uso de imagens de satélite convencionais é a alta incidência de nebulosidade na atmosfera durante os períodos de cultivo. Os comprimentos de onda mencionados são absorvidos e refletidos pelas camadas de vapor d'água, reduzindo a utilidade das imagens. Alternativas para mitigar esse problema têm se concentrado em ampliar a disponibilidade de sensores (multi-constelações) com maior resolução temporal, ou seja, menor intervalo entre as revisitas. No entanto, isso depende de investimentos ou contratação de serviços privados e não garante totalmente a disponibilidade oportuna, ou seja, nas datas de pré-operação.

O estudo de imagens alternativas, como imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*), tem sido pouco explorado na agricultura. Esse tipo de imagem pode ser promissor devido à sua insensibilidade ou não interação com as camadas de vapor d'água da atmosfera, permitindo o uso em períodos de alta nebulosidade na atmosfera. As informações e pesquisas relacionadas à agricultura ainda são incipientes. Na maioria das vezes, observa-se o uso de imagens SAR na área ambiental, principalmente para o monitoramento de vegetações nativas, aspectos do relevo do terreno e corpos hídricos.

Isso se deve ao tipo de interação que os comprimentos de onda usados pelos satélites SAR têm com os alvos (retroespalhamento). Em geral, não há absorção e reflectância do comprimento de onda pelo alvo, apenas o ângulo da refração, que é captado pelo sensor. Nesse contexto, a proposta de uso das imagens na agricultura se baseia no mapeamento de locais de maior e menor altura das plantas. Considerando uma mesma lavoura e variedade, áreas de baixo potencial produtivo geralmente apresentam plantas de menor porte, com menos estruturas reprodutivas e menor vigor, quando comparadas às áreas de médio e alto potencial.

Nossa hipótese é que as bandas de imagens SAR são capazes de capturar diferenças quanto à altura e na estrutura do dossel da cultura da soja, proporcionando oportunidades para a tomada de decisões no manejo localizado de insumos semelhantes ao uso do NDVI, como por exemplo, a dessecação. Nosso estudo teve como objetivo verificar a correlação espacial entre as bandas e os índices obtidos por imagens SAR e o NDVI na fase final de maturação da soja, utilizando técnicas de correlação linear e aprendizado de máquina. Além disso, buscamos determinar em quais valores da escala do NDVI as bandas ou índices SAR demonstraram ser responsivos para a tomada de decisões no manejo da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado durante a safra 2022/23 em três fazendas de produção comercial de soja dos estados de Mato Grosso (MT), Bahia (BA) e Piauí (PI). Foram selecionadas dez lavouras para estudo, nomeadas como: PG156, PG57A, PN48, PN49, PN50, PG79, PG37, PG81, PI11 e PI44. O clima das regiões, de acordo com a classificação de Köppen, são do tipo Aw (tropical), caracterizados por verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média e precipitação acumulada anual nessas regiões variam entre 24 e 26 °C e 1.500 e 2.200 mm, respectivamente (Alvares et al., 2013).

Imagens dos satélites Sentinel-1 (11/02/2023) e *Planet Scope* (05/02/2023) foram obtidas durante o período de maturação da soja (aproximadamente 10 a 15 dias antes da colheita). Sentinel-1 é um satélite que carrega um instrumento do tipo radar de abertura sintética, de banda C (30 cm), que fornece uma coleta de dados independente de clima ou horário do dia. Nesse estudo, foram utilizados dados de imageamento IW (*interferometric wide swath*), produto GRD (*ground range detect*). As polarizações utilizadas foram VV e VH.

Planet Scope é uma constelação de nanossatélites, compreendendo mais de 130 formatos CubeSats 3U (0,10 m × 0,10 m × 0,30 m) operados pela *Planet Labs, Inc.*, capazes de fornecer uma imagem diária de toda a superfície terrestre da Terra em alta resolução espacial (~3m). As imagens *Planet Scope* utilizadas foram adquiridas pelo sensor *Bayer Mask* CCD com quatro bandas espectrais: *Blue* (455–515 nm), *Green* (500–590 nm), *Red* (590–670 nm) e NIR (780–860nm). Foram selecionadas imagens livres de nuvens e que representassem a área total das lavouras em uma única imagem. Também se efetuou o pré-processamento para correções de compensação geométrica e atmosférica. IVs foram calculados para todas as lavouras. Calculou-se índices de vegetação a partir das imagens *Planet Scope* (NDVI) e Sentinel-1 (SAR), conforme as expressões matemáticas:

$$NDVI = (Red - NIR) / (Red + NIR) \quad (1)$$

$$IV_{sar-1} = VV - VH \quad (2)$$

$$IV_{sar-2} = \frac{VV}{VH} \quad (3)$$

$$IV_{sar-3} = \frac{VH}{VV} \quad (4)$$

$$IV_{sar-4} = \frac{(VV+VH)}{2} \quad (5)$$

$$IV_{sar-5} = \frac{(VV-VH)}{2} \quad (6)$$

$$IV_{sar-6} = (VV + VH) + \left(\frac{VV}{VH} \right) \quad (7)$$

$$IV_{sar-7} = \frac{(VV-VH)}{(VV+VH)} \quad (8)$$

$$IV_{sar-8} = \frac{(VH-VV)}{(VH+VV)} \quad (9)$$

em que: *Red* corresponde a banda do vermelho e NIR à banda do infravermelho próximo, obtidas das imagens *Planet Scope*; VV e VH correspondem às bandas de polarização dupla vertical-vertical e vertical-horizontal das imagens Sentinel-1.

Uma grade amostral de resolução 20 × 20 m foi criada para cada lavoura do estudo, para extrair os valores espectrais dos IV. Diante disso, a média de pontos por lavoura ficou em 3.762. Após a organização das informações nas grades de coleta, foi realizada a análise exploratória e

teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*. Além disso, utilizou-se a correlação de *Spearman* entre os índices NDVI e SAR das lavouras.

Um modelo para previsão do NDVI foi empregado para identificar as relações com os índices calculados pelas bandas SAR e sua capacidade de capturar diferenças na estrutura do dossel da cultura da soja indicadas pelo NDVI. O processo envolveu o ajuste de um modelo utilizando o algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest* (RF), onde utilizou-se o NDVI como variável dependente e os demais índices calculados (IV-sar) e bandas polarimétricas (VV e VH) como variáveis independentes.

O RF trata problemas comumente encontrados em dados de treinamento, como por exemplo, a colinearidade e captura de comportamentos não-lineares entre variáveis, construindo uma infinidade de árvores de decisão. Nesse sentido, as lavouras citadas anteriormente foram separadas para treinamento (70%) e teste (30%) dos dados do modelo. Um grupo de lavouras (PG37, PG87, PG79, PI11 e PI44) foram utilizadas como banco de dados externo para posterior validação do modelo. As avaliações de desempenho do modelo foram realizadas pelos cálculos de raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE) e coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado). Gráficos de validação cruzada foram construídos para todos os conjuntos de dados, para avaliação do NDVI observado × estimado pelo modelo. Todas as análises estatísticas foram realizadas em ambiente R versão 4.1.2 (R Core Team, 2021), utilizando os pacotes “sf”, “raster” e “caret”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise descritiva indicaram uma ampla amplitude de valores para o índice NDVI, variando entre -0,2 e 0,9, quando consideradas todas as lavouras (Tabela 1). Essa variabilidade pode ser classificada como média, devido ao desvio padrão (DP) de 0,16, e o coeficiente de variação (CV) abaixo de 35%. O valor médio do NDVI (0,74) esteve próximo da mediana (0,78), o que sugere que os dados são bem representativos na distribuição de frequência.

Em relação às bandas de polarização VV e VH, observou-se baixa variabilidade dos dados, com CVs menores que 16% e valores médios e medianas semelhantes (Tabela 1). Os indicadores descritivos dos índices SAR seguem o comportamento das bandas polarimétricas, uma vez que estão envolvidos nos cálculos dos índices. IVsar-4 e IVsar-6 apresentaram uma amplitude limitada entre valores máximos e mínimos, com médias e medianas semelhantes e coeficientes de variação próximos de 17%.

O teste de *Shapiro-Wilk* rejeitou a hipótese de normalidade para os dados de NDVI e índices SAR considerando todas as lavouras analisadas. É importante destacar que, embora o teste tenha sido significativo para esses atributos, os índices refletem o comportamento das plantas de soja em fase final de maturação, o que pode levar a alguns valores discrepantes no conjunto de dados. Além disso, não foram tratados *outliers* em nosso conjunto de dados, devido às condições de comparação entre as imagens de satélite em diferentes condições. Neste estudo, a suposição de normalidade nos permitiu avaliar a possibilidade (que foi rejeitada) de usar testes paramétricos para comparações entre variáveis em lavouras ou outros possíveis fatores.

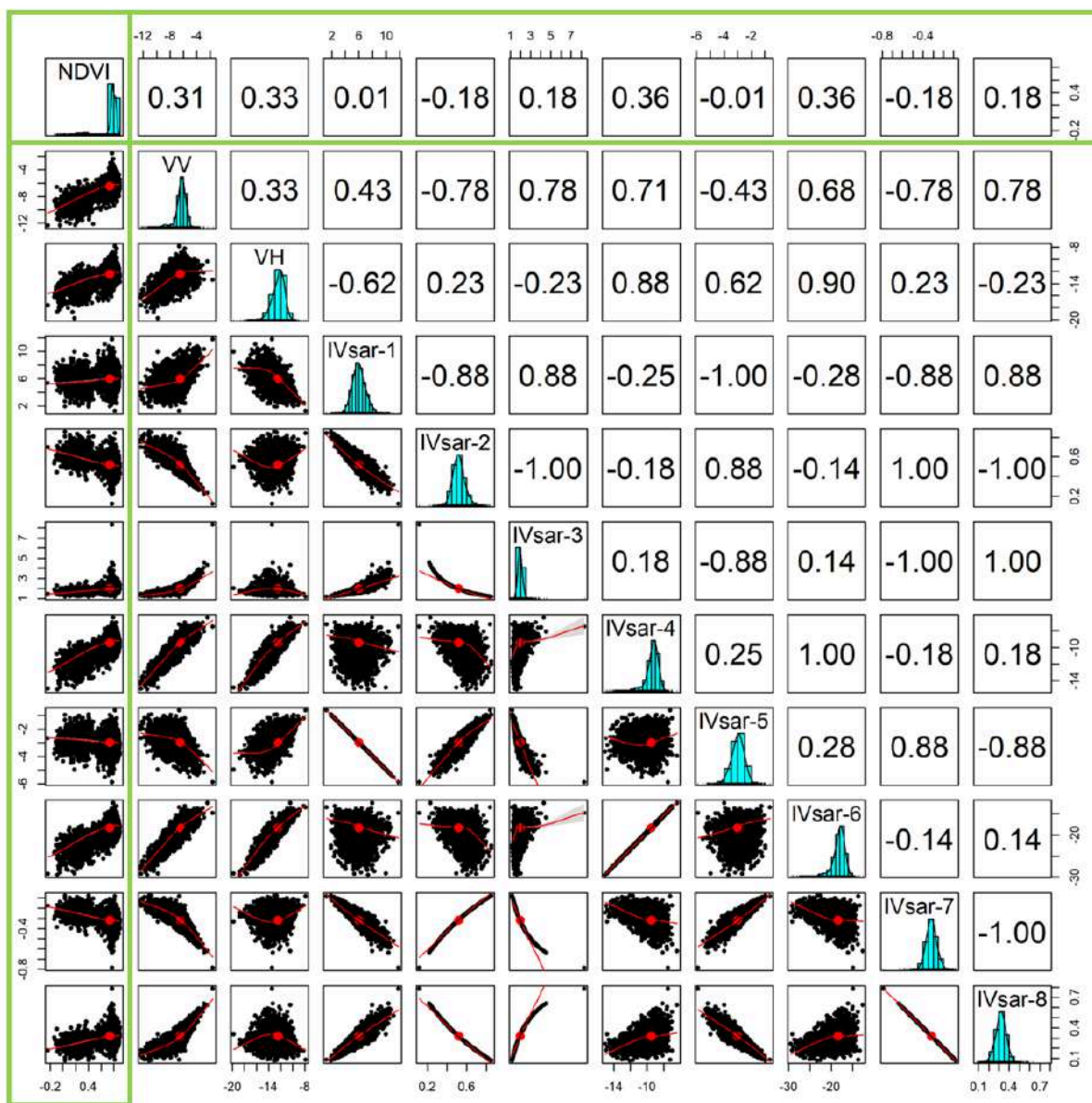
Tabela 1 – Análise descritiva e teste de normalidade de índices de vegetação obtidos a partir de imagens *Planet Scope* (NDVI) e Sentinel-1.

Índices	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP	CV (%)	S-W	p-valor
NDVI	-0,20	0,90	0,74	0,78	0,16	21,50	0,57*	3,6E-70
VV	-12,34	-1,61	-6,47	-6,29	0,99	15,29	0,87*	2,6E-48
VH	-19,77	-7,85	-12,44	-12,28	1,10	8,80	0,96*	7,3E-30
IVsar-1	1,24	11,80	5,97	5,93	1,02	17,00	0,99*	2,2E-12
IVsar-2	0,12	0,85	0,52	0,52	0,07	12,50	0,99*	9,9E-19
IVsar-3	1,17	8,31	1,95	1,94	0,25	12,99	0,96*	1,4E-30
IVsar-4	-15,04	-6,40	-9,45	-9,28	0,91	9,64	0,88*	7,9E-47
IVsar-5	-5,90	-0,62	-2,99	-2,96	0,51	17,00	0,99*	2,2E-12
IVsar-6	-29,47	-12,57	-18,38	-18,05	1,80	9,79	0,89*	4,2E-46
IVsar-7	-0,79	-0,08	-0,32	-0,32	0,06	17,60	0,99*	8,1E-14
IVsar-8	0,08	0,79	0,32	0,32	0,06	17,60	0,99*	8,1E-14

DP: desvio padrão; S-W: W calculado a partir do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, p-valor corresponde ao valor de p do teste à 5% de significância, * indica variável significativa; NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada; VV e VH: bandas de polarização dupla vertical-vertical e vertical-horizontal, respectivamente, das imagens Sentinel-1; IVsar-n: índice de vegetação obtido a partir das bandas de polarização VV e VH.

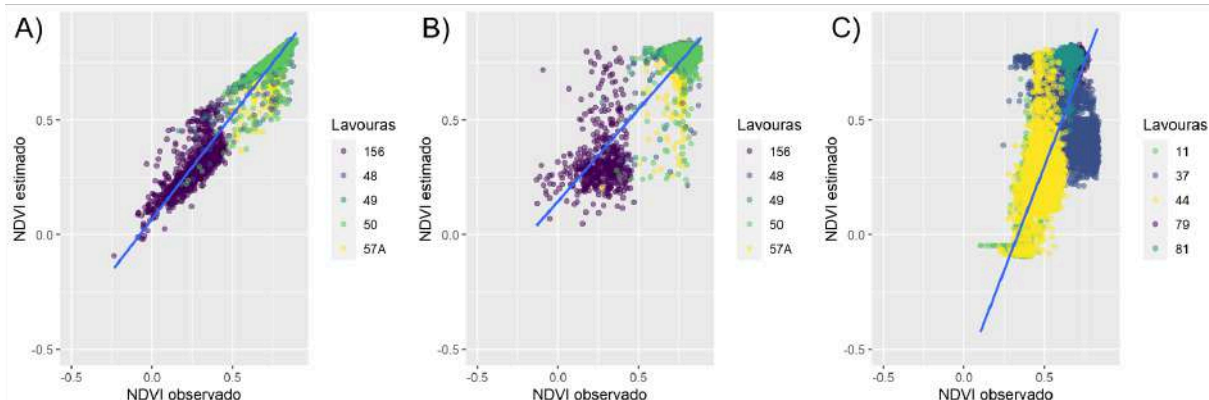
A correlação monotônica entre o conjunto de dados foi verificada usando o teste de *Spearman* (Figura 1). A correlação monotônica entre duas variáveis indica se as variáveis têm uma relação que aumenta ou diminui juntas, mas não necessariamente em uma taxa constante. Com isso, foi possível constatar que o NDVI apresenta correlações moderadas e positivas com as bandas polarimétricas VV (0,31) e VH (0,33) do sensor SAR, bem como com os índices IVsar-4 (0,36) e IVsar-6 (0,36). Esses índices e bandas podem potencialmente contribuir para a construção de modelos de aprendizado de máquinas para estimativas do NDVI da soja em fase final de maturação.

Figura 1 – Matriz de correlação de *Spearman* entre índices de vegetação obtidos a partir de imagens *Planet Scope* (NDVI) e *Sentinel-1* (IVsar-1, IVsar-2, IVsar-3, IVsar-4, IVsar-5, IVsar-6, IVsar-7 e IVsar-8). Em destaque (linhas verdes) as correlações obtidas para o NDVI.



O modelo gerado com o RF foi ajustado aos dados de treinamento com alta precisão (R^2 ajustado: 0,95; RMSE: 0,0352 e MAE: 0,0203), sendo estatisticamente significativo a um nível de probabilidade de 0,01. As 13.167 amostras (70% do conjunto de dados) usadas para treinamento foram suficientes para ajustar o modelo nas condições do estudo. Além disso, o coeficiente de correlação obtido ($R = 0,98$) indicou uma forte relação entre os índices preditores e os valores de NDVI da soja (Figura 2A).

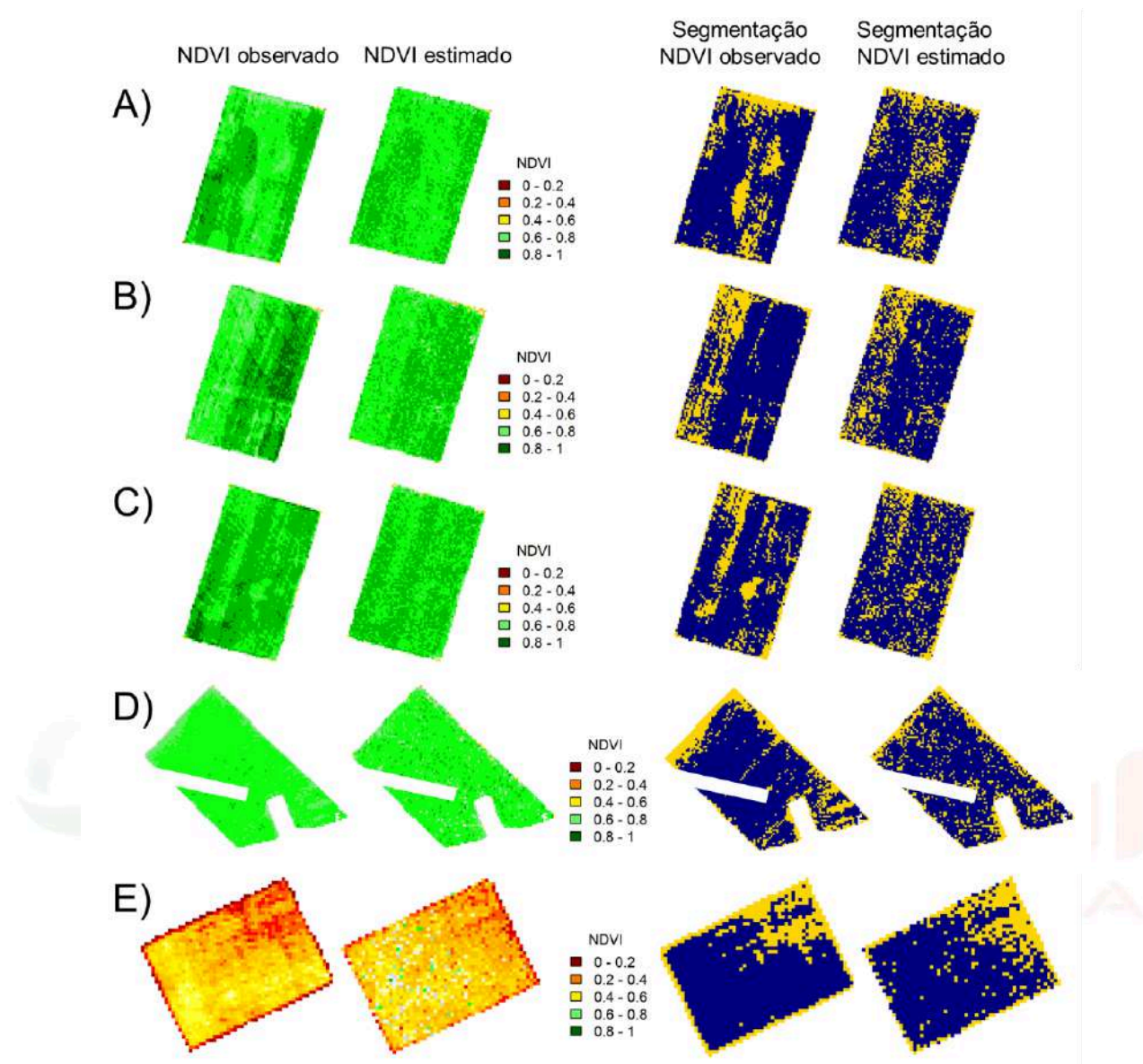
Figura 2 – Gráficos de dispersão de valores do índice NDVI observado (imagens *Planet Scope*) e NDVI estimado a partir de bandas de polarização VV e VH, e índices de imagens SAR (Sentinel-1). (A) Dados utilizados para treinamento (70%) do modelo *Random Forest*; Dados de teste (30%) do modelo; (C) Dados de validação do modelo (lavouras não utilizadas no treinamento e teste).



As estimativas de NDVI na base de dados de teste (5.644 amostras; 30% do conjunto de dados) confirmaram a qualidade do modelo proposto. Para esta base, obtivemos um R^2 ajustado de 0,76 e um R de 0,87 entre os valores estimados e observados, que se aproximaram de uma linha de 1:1 (Figura 2B). No gráfico de dispersão, observou-se maiores desvios na lavoura PG156, devido a uma clara tendência de superestimar valores NDVI acima de 0,35. Observou-se também que valores próximos de 0,8 de NDVI para as lavouras PN49, PN50 e PG57A foram subestimados entre 0,5 e 0,1. Todavia, de maneira geral o modelo apresentou desempenho satisfatório utilizando a base de dados de teste. Em um estudo similar realizado por Figueiras et al. (2019), os pesquisadores avaliaram o desempenho do RF para estimar o NDVI a partir de imagens SAR em áreas de soja e milho cultivadas por pivôs centrais na região do Matopiba, com foco na porção pertencente à mesorregião oeste do Estado da Bahia. Como resposta da pesquisa, constataram que o modelo RF apresentou os melhores desempenhos utilizando IV, possibilitando o mapeamento dos estádios fenológicos das culturas.

A partir da análise visual dos mapas de NDVI (obtidos pelas imagens NDVI e estimados pelo modelo RF utilizando imagens SAR), ficaram evidentes as constatações já observadas nos gráficos de dispersão e métricas de desempenho do modelo (Figura 3). Regiões de NDVI entre 0,8 e 1,0 foram subestimadas (Figura 3A, B e C) e regiões entre 0,0 e 0,20 foram superestimadas (Figura 3 E). Utilizando os intervalos interquartílicos dos dados como forma de classificação/segmentação, foi possível confirmar se o modelo acompanhou os padrões observados no NDVI obtido pelas imagens *Planet Scope*. Essa análise é importante para entender se o uso das imagens SAR e o modelo RF são aplicáveis às para uso na agricultura de precisão. Nesse sentido, o resultado foi satisfatório frente a delimitação das regiões baixo e altos valores de NDVI, possibilitando a aplicação de insumos em taxa variável nas lavouras utilizadas para treinamento e teste do modelo.

Figura 3 – Mapas de NDVI observado e estimado, e segmentação para avaliação de padrões espaciais. Lavouras PN48 (A), PN49 (B), PN50 (C) PG57A (D) e PG156 (E).



No entanto, as limitações do modelo RF foram evidentes nas estimativas utilizando a base de dados de validação (lavouras PI11, PI44, PG37, PG79 e PG81), que não foram usadas para treinamento e teste do modelo. Nessas lavouras, o modelo RF demonstrou uma tendência de subestimar o NDVI em regiões com valores entre 0,65 e 0,85 (Figura 2C), assim como para estimativas de valores de NDVI abaixo de 0,5, em que o modelo sugeriu valores abaixo de 0. Essa tendência pode ser atribuída a fatores como a necessidade de um banco de dados mais específico e variado, que abrange diferentes tipos de ambientes, incluindo lavouras com plantas de maior e menor porte, variedades diferentes e outros fatores. Essas variações podem ocorrer nas lavouras, levando a valores de NDVI que são insensíveis a mudanças. Nesse sentido, o NDVI estimado abaixo de 0,5 não necessariamente condiz com regiões de plantas de baixo porte. Nos dados de validação e teste ficou claro que houve valores de NDVI = 0,8 sendo estimados pelo modelo como 0,5.

É importante destacar que apesar de ter considerado um número limitado de lavouras em apenas uma safra, este estudo proporciona meios para pesquisas futuras, que podem incluir mais

informações, como novas lavouras e safras distintas, que apresentem as características teoricamente capturadas pelas imagens SAR. A inovação deste estudo está na utilização das imagens SAR, que são insensíveis à presença de nuvens e vapor d'água, como variáveis de entrada no modelo RF, usando técnicas de classificação e segmentação para identificar padrões na saúde das lavouras.

4. CONCLUSÕES

As bandas polarimétricas VV e VH extraídas das imagens SAR, juntamente com os índices IVsar-4 e IVsar-6, demonstraram correlações moderadas e positivas com o índice NDVI. O modelo de aprendizado de máquina proposto, utilizando o algoritmo *Random Forest* gerou estimativas precisas do índice NDVI da soja, conforme evidenciado pelas métricas de avaliação do modelo nas bases de treinamento e teste. No entanto, observou-se uma clara tendência de subestimação dos valores de NDVI no conjunto de dados de validação, o que aponta para a necessidade de enriquecer a base de dados de treinamento com informações mais abrangentes.

Este estudo oferece duas contribuições significativas para a área de agricultura de precisão. Em primeiro lugar, sugere o uso das imagens SAR como uma alternativa viável para períodos de alta nebulosidade, nos quais as imagens de satélite convencionais são inviabilizadas. Em segundo lugar, fornece *insights* valiosos sobre o uso de variáveis auxiliares que podem aprimorar as previsões dos modelos que utilizam dados de sensoriamento remoto por satélites.

Por fim, este estudo representa um passo importante para a sustentabilidade agrícola e melhoria da tomada de decisões no manejo de culturas, especialmente durante condições climáticas desafiadoras, e incentivam futuras pesquisas para expandir a base de dados e aprimorar ainda mais os modelos de previsão baseados em imagens SAR e outras variáveis relacionadas.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- FIGUEIRAS, R.; MANTOVANI, E. C.; ALTHO, D.; FERNANDES FILHO, E. I.; DA CUNHA, F. F. Crop NDVI monitoring based on Sentinel 1. **Remote Sensing**, v.11, n.1141, p. 1-20, out. 2019. DOI:10.3390/rs11121441
- GITELSON, A. A.; PENG, Y.; HUENNRICH, K. F. Relationship between fraction of radiation absorbed by photosynthesizing maize and soybean canopies and NDVI from remotely sensed data taken at close range and from MODIS 250 m resolution data. **Remote Sensing of Environment**, v.147, p. 108-120, Mai. 2014. DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.014
- PARENTE, L.; MESQUITA, V.; MIZIARA, F.; BAUMANN, L.; FERREIRA, L. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. **Remote Sensing of Environment**, v.232, n.111301, p. 1-11, out. 2019. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111301

PLANT, R. E.; MERMER, A.; PETTYGROVE, G. S.; VAYSSIERES, M. P.; YOUNG, J. A.; MILLER, R. O.; JACKSON, L. F.; DENISON, R. F.; PHELPS, K. Factors underlying grain yield spatial variability in three irrigated wheat fields. **Transactions of the ASAE**, v.42, n.5, 1999. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.13284>

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021. URL: <https://www.R-project.org/>



AVALIAÇÃO DA CONTINUIDADE TEMPORAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO PARA FORMAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

Assessment of temporal continuity of soil electrical conductivity of management zones

Bruna Rathke¹; Larissa Barden Meira¹; Leonardo Seibel Sander¹; Maurício Frigo Dal'soto¹; Vanda Duarte¹, Lúcio de Paula Amaral¹;

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima n°1000 - Camobi, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, argnomabrunarathke@gmail.com; larissa.b.meira@gmail.com; leonardo.seibelsander@gmail.com; dalsoto.mauricio@gmail.com; vanda.agronomia@gmail.com

RESUMO

O princípio básico da agricultura de precisão é entender a variabilidade dentro dos talhões agrícolas, a partir da introdução de ferramentas com capacidade de geolocalização, os estudos da área se aprofundaram, tentando entender como seria a melhor forma de classificar as áreas por suas capacidades produtivas. Uma maneira clássica é a partir das análises de solos que possuem diversas variáveis ou também com mapas de produtividade, mas a condutividade elétrica aparente do solo é uma solução eletrônica e de fácil coleta que tem mostrado bons resultados para tal objetivo, confrontando as formas clássicas de classificação das áreas. Para isso então buscou-se entender como a variável se comporta ao longo do tempo e a partir delas construir zonas de manejos. O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) – Câmpus Ibirubá, em um talhão de aproximadamente 10 ha. Para coleta de dados utilizou-se a plataforma de sensores de solo Veris U3, que realiza coletas a uma frequência de 1 ponto s⁻¹, a uma profundidade entre 0-60 cm, as camadas coletadas continham uma diferença de tempo equivalente a um ano. Para o processamento e criação de novas superfícies optou-se pelo QGis, já que o mesmo possui o plugin Smart-Map embarcado, onde se produziu as interpolações e criação das zonas de manejo. As superfícies de Condutividade Elétrica Aparente (CEa) se mostraram muito similares tanto para as explicações das equações quanto na semelhança visual das zonas, o que permitiu a definição de duas zonas de manejo a partir delas.

Palavras-chave: Zonas de manejo. Veris. Condutividade Elétrica.

ABSTRACT

The basic principle of precision agriculture is to understand the variability within agricultural plots. With the introduction of tools with geolocation capabilities, studies in the area have deepened, trying to understand the best way to classify areas according to their productive capabilities. A classic way is to analyze soils that have several variables or also with productivity maps, but the apparent electrical conductivity of the soil, an electronic and easily collected solution, has shown good results for this objective. To achieve this, we sought to understand how the variable behaves over time and build management zones from them. The present work was developed in the experimental area of IFRS – Câmpus Ibirubá, in a plot of approximately 10 ha, for data collection the Veris U3 soil sensor platform was used, which performs collections at a frequency of 1 point s⁻¹, at a depth between 0-60 cm, the collected layers contained a time difference equivalent to one year. For the processing and creation of new surfaces, we chose QGis, as it has the Smart-Map plugin embedded, where the interpolations and creation of management zones were carried out. The ECa surfaces were very similar both for the explanations of the equations and the visual similarity of the zones, which allowed the definition of two management zones based on them.

Keywords: Management zones. Veris. Eletric conductivity.

1. INTRODUÇÃO

Entender a variabilidade dentro de um talhão, é uma das premissas dentro das inúmeras áreas estudadas dentro da agricultura de precisão, mapear esta heterogeneidade pode contribuir

para o planejamento e aplicação de diferentes métodos de manejos, trazendo resultados positivos tanto para o lado econômico e também ambiental. Um grande desafio para isso é encontrar variáveis que estão em consonância com esta diferenciação apresentada dentro de uma área (MOLIN et al., 2015).

A partir da introdução de equipamentos que possuíam a capacidade de se geolocalizar através de uma rede global de satélites (GNSS), foi possível determinar e entender a diferença espacial de cada atributo, seja de solo ou planta, tornando viável a ideia de se trabalhar com zonas de manejo, todavia existe uma enorme complexidade em determinar a variação sofrida por uma cultura de interesse, devido a sua exposição a fatores bióticos e abióticos (BERNARDI et al., 2014).

Comumente as amostragens de solo servem como base para orientar uma parte destas variações, porém cada atributo pode gerar uma continuidade espacial diferente ou por vezes não conter dados suficientes para explicar tais comportamentos, devido ao custo agregado para cada amostragem, outra via são os mapas de colheita, porém pelo olhar do viés técnico, estes dados apesar de possuírem alta densidade amostral, podem chegar com muito ruído devido a falta de calibração adequada dos sensores, e serem passivos de erros no momento da colheita (MOLIN et al., 2015).

O uso da condutividade elétrica aparente do solo (CEa), tem apresentado bons resultados de correlação com vários atributos físicos e químicos do solo, outro ponto destacável é a densidade amostral produzida por tais sensores, aliado a simplicidade e praticidade da produção dos mesmos. Destaca-se ainda por alta correlação com a textura do solo tornando-a como uma variável com poucas alterações temporais (LUND et al, 2001).

O objetivo do presente trabalho foi verificar a continuidade temporal da condutividade elétrica comparando em uma diferença de um ano, e determinar a sua correlação e se é possível gerar zonas de manejo a partir das mesmas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A experimentação foi conduzida em um sistema de plantio direto (SPD), com cultivo de soja no verão e culturas de cobertura no inverno, durante os anos de coleta. A área de estudo que contabiliza aproximadamente 10 ha, está localizada dentro do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul Câmpus Ibirubá, situada na região fisiográfica do Planalto Médio, Rio Grande do Sul Brasil, com clima Cfa – subtropical úmido (MORENO, 1961). O solo é classificado pela EMBRAPA (2006) como Latossolo Vermelho Distroférrico. A mesma possui uma altitude aproximada de 416 m acima do nível do mar, sob coordenadas de latitude 28°39'13,99" S e longitude 53°31,23" O.

Os dados utilizados no trabalho foram coletados nos anos de 2019 e 2020, ambas as amostragens no mês de setembro, com uma amplitude de leitura de 0 – 60 cm, através do equipamento Veris U3, de fabricação pela empresa Veris Tech®, e distribuída pela empresa Stara S/A, no mercado nacional. O equipamento utiliza do método de quatro pontos, com dois pares de eletrodos, que ficam em contato constante com o solo. A frequência da coleta foi de 1 ponto s⁻¹, já que o dispositivo permite a coleta dinâmica, espaçadas lateralmente em 15 metros.

O software base utilizado para processamento dos dados foi o QGis versão 3.30, tanto para plotagem das superfícies geradas quanto para manipulação dos dados espaciais, montagem de máscaras de apresentação, verificação da correlação e gerar as novas camadas interpoladas. Para esta função utilizou-se o *plugin*, Smart-Map que utiliza para a interpolação o método da krigagem ordinária e métricas como R² e a raiz quadrada do erro médio (RMSE) como métricas de erro com base no método *Leave-one-out* para validação das explicações matemáticas, e para

geração das zonas de manejo utiliza do algoritmo fuzzy k-means, e possui um auxílio através de dois índices o *Fuzzy Performance Index* (FPI) e *Normalized Classification Entropy* (NCE) para indicar o número ideal de zonas de manejo (PEREIRA *et al.*, 2022). As demais avaliações foram criadas no software Excel, que permite uma série de análises descritivas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados de CEa foram criadas duas novas camadas interpoladas, que são explicadas pelo modelos teóricos apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1. Explicação do modelo teórico das camadas analisadas.

Camada	Co	Co+C	A	RMSE	R2	Equação
CEa (2019)	1,237	3,24	248,808	0,106	0,974	Exponencial
CEa (2020)	1,095	3,237	259,426	0,105	0,972	Exponencial

CEa (2019): dados de CEa coletados no ano de 2019; CEa (2020): dados de CEa coletados no ano de 2020; Co: Efeito Pepita; Co+C: Patamar; A: Alcance; RMSE: raiz quadrada do erro médio.

A observação visual da variabilidade entre as camadas interpoladas entre os mapas mostra-se muito similar, mesmo os valores absolutos possuindo diferença, existe uma nitidez entre as semelhanças no espelhamento das superfícies, apresentando que a variável de CEa possui e mantém uma continuidade temporal (Figura 1 e 2), isso é comprovado também pela explicação teórica da krigagem, já que os dois modelos são explicados pela equação exponencial e as métricas de cálculo são muito aproximadas.

Figura 1 – Mapa interpolado para os dados do ano de 2019 de condutividade elétrica aparente do solo.

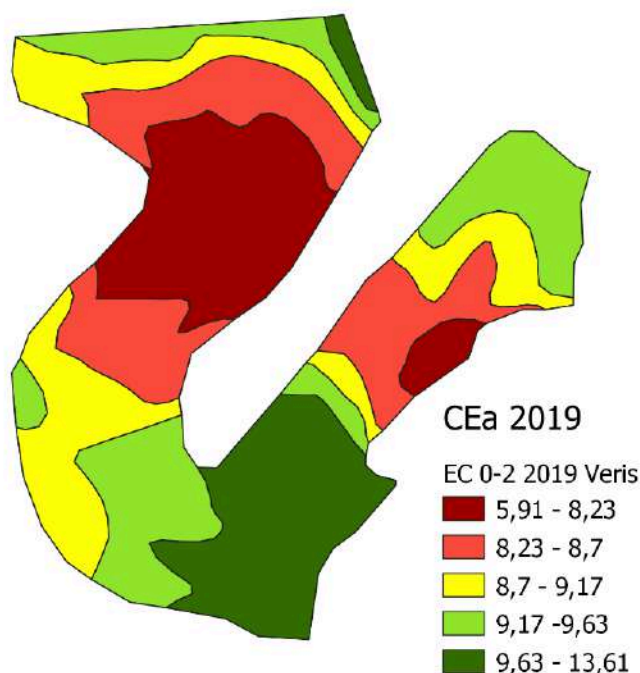
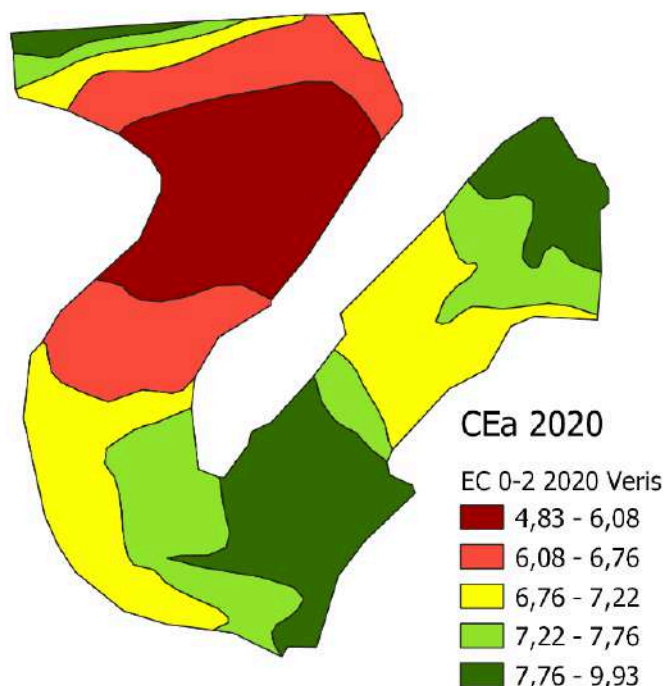


Figura 2 – Mapa interpolado para os dados do ano de 2020 de condutividade elétrica aparente do solo.



Embora muito similares, os valores absolutos se alteram, de certa forma já esperado devido a diferença de tempo entre as coletas e condições do solo, para ambas as situações o número de coletas ficou próximo de 3500 pontos, ou seja, uma densidade amostral aproximadamente de 350 pontos ha⁻¹.

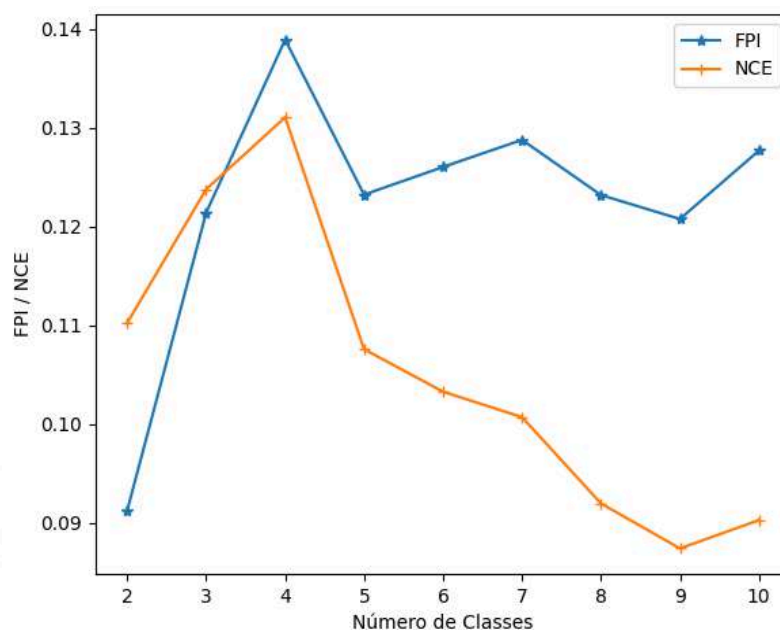
Perez et al. e demais autores (2014), encontraram em seu trabalho, onde variou-se os espaçamentos de coletas de CEa, uma boa explicação espacial da variável com 25 metros de distância, no presente trabalho utilizou-se 15 metros (por recomendação do fabricante), e obteve-se uma boa explicação inclusive muito próxima entre as camadas de dados.

A partir das superfícies geradas pode-se então partir para a criação das zonas de manejo. No plugin Smart-Map, a partir das escolhas das camadas, são calculados índices de FPI e NCE para diferentes quantidades de zonas de manejo, para o software, a que melhor se ajusta são as que possuem a menor diferença entre os índices, neste caso, indicou-se duas zonas com os valores de FPI e NCE, iguais a 0,091 e 0,110, respectivamente, como apresentado pela Figura 3.

Após definir a quantidade de zonas, para este caso duas, interpolou-se um novo mapa, apresentado pela Figura 4, a Zona 1 é composta pelos valores mais baixos de CEa, e a Zona 2 por valores superiores, a partir deste ponto cabe definir quais manejos podem ser adotados a partir desta informação.

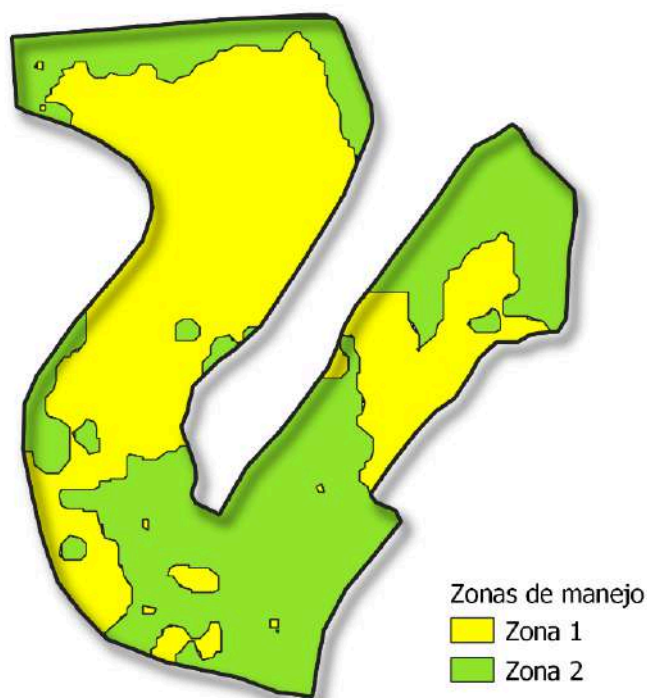
Neves e colaboradores (2010), também encontraram alto padrão de correlação entre as coletas da variável CEa, quando comparadas a atributos de solo que interferem diretamente nas produções de culturas agrícolas, reforçando sua utilização para formação de zonas de manejo.

Figura 3 - Gráfico dos valores de FPI e NCE para diferentes quantidades de zonas de manejo.



Inúmeros fatores influenciam a variação da CEa, estes ligados a estrutura de formação do solo, principalmente a atributos físicos e químicos, por isso das suas inúmeras aplicabilidades. Desta-se a alta correlação com a granulometria e textura do solo, e variáveis químicas como matéria orgânica, pH, capacidade de troca de cátions, e concentração salina na fase líquida do solo, variando entre correlações positivas e negativas (SIQUEIRA et al., 2009; ARAUJO et al., 2017; REIS, 2005).

Figura 4 – Mapa das zonas de manejo.



4. CONCLUSÕES

A partir do trabalho foi possível verificar a semelhança temporal da variável CEa, entre a diferença de um ano entre as coletas;

A partir das superfícies de CEa, foi possível determinar uma diferença entre as zonas das camadas e produzir uma informação de zonas de manejo.

AGRADECIMENTOS

Ao curso de Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão da UFSM, por possibilitar a realização deste trabalho na disciplina DPADO803 - GEOESTATÍSTICA, 2023/2º Semestre.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. G.; CORRÊA, A. R.; LIMA, D. C. de O. S.; PRANDO, E. de P.; SENA, K. N.; MONTANARI, R.; DA SILVA, R. M. Análise espacial da condutividade elétrica e atributos físico-químicos de um Latossolo. **Agrarian**, [S. l.], v. 9, n. 31, p. 73–83, 2017.

BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão Resultados de um Novo Olhar**. Brasília, DF: embrapa, 2014.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 2 Ed. 306p.

LUND, E.D.; WOLCOTT, M.C.; HANSON, G.P. Applying nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. **Scientific World**. v.1, p.767-776, 2001.

MOLIN, J. P; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2015.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

NEVES, M.; LUCHIARI, A; SOUZA, M. D. de; INAMASU, R. Y; RABELLO, L. M. Efeito da alta frequência espacial na relação entre a condutividade elétrica e atributos do solo. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – CONBAP, Robeirão Preto, SP, 2010. Anais.

Pereira, G.W.; Valente, D.S.M.; Queiroz, D.M.d.; Coelho, A.L.d.F.; Costa, M.M.; Grift, T. Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. **Agronomy**, v.12, n.6, 2022.

PEREZ, N. B.; NEVES, M. C.; SISTI, R. V.; NUNES, C. L. R. N.; LEITÃO, F. M. da L. Condutividade Elétrica do solo e produtividade: uso no sistema de integração lavoura-pecuária para determinar zonas de manejo durante o cultivo de soja. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão Resultados de um Novo Olhar**. Brasília, DF: embrapa, 2014.

REIS, Leonardo Rubim. Utilização da condutividade elétrica para estabelecimento de zonas de manejo em um latossolo amarelo-escuro. Dissertação (**Mestrado**) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2005.

SIQUEIRA, G. M; DAFONTE, J. D.; GONZÁLEZ, A. P. Estimación de la textura y contenido de agua en el suelo a partir de matos de conductividad eléctrica utilizando geoestadística multivariante. **Estudios en la Zona del Suelo**, v.9, Barcelona, 2009.



POTENCIAL DAS IMAGENS OBTIDAS POR RPAS NO INVENTÁRIO E MONITORAMENTO INICIAL DA SOBREVIVÊNCIA DAS MUDAS DE *EUCALYPTUS*

Potential of images obtained by RPAS in inventory and initial monitoring of survival in Eucalyptus plants

Sally Deborah Pereira da Silva¹, Lúcio de Paula Amaral¹, Regiane Aparecida Ferreira², Roberta Aparecida Fantinel¹, Maurício Pegoraro Stangarlin¹, Victor Vinicius Machado Leandro³, Renato Souza Santos¹, Luciano Zucuni Pes⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, sallydeborah@outlook.com, fantinel.ar@gmail.com; amaralufsm@gmail.com; mauriciostangarlin@hotmail.com; renatosouzaef@gmail.com

²Regiane Aparecida Ferreira, Mestre em Agricultura de Precisão, PPGAP/UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, regianeferreira1891@gmail.com

³Victor Vinicius Machado Leandro, Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, victorvml1999@gmail.com

⁴Luciano Zucuni Pes, Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, lucianopes@politecnico.ufsm.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial das imagens de alta resolução espacial obtidas por RPAS para o monitoramento da taxa de sobrevivência de mudas em um plantio experimental de *Eucalyptus spp*, em comparação com o levantamento de sobrevivência de mudas tradicional. De início, foi realizado um inventário para avaliação da sobrevivência e condição das mudas, e posteriormente, foram feitas campanhas de voo utilizando um RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) equipado com um sensor RGB. Os resultados demonstraram que a utilização de imagens de alta resolução espacial obtidas com o RPAS possibilitaram identificar por fotointerpretação e localizar manualmente 54% das mudas presentes no plantio, em relação aos dados do levantamento de sobrevivência. Dessa forma, a abordagem forneceu dados detalhados sobre a distribuição e condição das mudas, embora com algumas limitações.

Palavras-chave: Plantio Florestal. Floresta de Precisão. Sensoriamento Remoto

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the potential of high spatial resolution images obtained by RPAS for monitoring the survival rate of seedlings in an experimental plantation of *Eucalyptus spp*, in comparison with traditional seedling survival measurement. Initially, an inventory was carried out to assess the survival and condition of the seedlings, and subsequently, flight campaigns were carried out using an RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) equipped with an RGB sensor. The results demonstrated that the use of high spatial resolution images obtained with RPAS made it possible to identify through photointerpretation and manually locate 54% of the seedlings present in the planting, in relation to data from the survival survey. In this way, the approach provided detailed data on seedling distribution and condition, albeit with some limitations.

Keywords: Forest Growth. Precision Forestry. Remote sensing

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, o Brasil tem se destacado como líder mundial em produtividade madeireira, devido à sua ênfase em sustentabilidade, competitividade e inovação. O

setor brasileiro possui o maior índice de produtividade mundial em volume de madeira por área, juntamente com os ciclos de plantio mais curtos, resultados esses que são influenciados tanto pelas condições climáticas e do solo quanto pelos significativos investimentos no setor (GONÇALVES *et al.*, 2019).

Conforme a Indústria Brasileira de Árvores (IBA), as florestas plantadas totalizaram, no ano de 2022, 9,93 milhões de hectares no país, sendo 75,8% da área composta pelo cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus*, suprimindo cerca de 90% de toda madeira utilizada para fins produtivos, tais como celulose, papel, painéis de madeira, pisos laminados, carvão vegetal e biomassa (IBA, 2022). No ano de 2021, os produtos florestais representaram 11% das exportações do Brasil, gerando uma receita de US\$ 11,3 bilhões. Somado a contribuição econômica, as florestas plantadas desempenham um papel de destaque na conservação das florestas naturais, além de um estoque estimado em 1,88 bilhão de toneladas de CO₂.eq¹ retirado da atmosfera (DAMASCENO *et al.*, 2023).

Com a contínua evolução na produção madeireira, é necessário buscar inovações e aprimorar a eficiência das tecnologias empregadas em todo o processo produtivo, uma vez que, permite um manejo sustentável mais eficaz e também otimiza a utilização dos recursos florestais (GONÇALVES *et al.*, 2019). Para que se possa gerenciar aspectos operacionais, como a uniformidade do plantio, taxa de sobrevivência, alinhamento, ataque de pragas e patógenos, déficit hídrico e/ou nutricional, entre outros, é essencial estabelecer um monitoramento contínuo da produção, que desempenha um papel crucial na orientação das decisões relacionadas às atividades silviculturais (PONTES; FREITAS, 2015).

Nesse sentido, o sensoriamento remoto (SR) vem a cada dia se mostrando uma excelente ferramenta para o planejamento e obtenção de informações espaciais, como, por exemplo, no suporte de inventários florestais tradicionais, pois os dados obtidos de diferentes plataformas (terrestre, orbital e aéreo), e sensores (visível, multiespectral, hiperespectral, termal, radar e LiDAR), podem conferir informações sobre o crescimento da floresta, contagem de falhas, detecção de estresse biótico e abiótico, biomassa, incêndios, e outros, dando suporte a decisões de gerenciamento de povoamentos florestais (SILVA *et al.*, 2018).

A utilização de SR, especialmente para plantios florestais em fase inicial, desempenha um papel essencial. Nessa etapa, a transição abrupta das condições controladas de viveiro para o campo pode induzir o estresse e impactar o desenvolvimento das mudas. Assim, as imagens obtidas por meio de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft Systems* - RPAS) em combinação com diferentes sensores, oferecem inúmeros benefícios no monitoramento, devido a sua alta resolução espacial, espectral e temporal (PAJARES, 2015). Além disso, as RPAS permitem a visualização detalhada das mudas e sua distribuição, fornecendo informações sobre a saúde dessas plantas, além de obter dados em tempo real, o que permite análises imediatas e respostas rápidas a problemas emergentes (GUIMARÃES *et al.*, 2020; DASH *et al.*, 2017).

Dessa forma, a facilidade de acesso a dados, geração de informações atualizadas, melhoria da eficiência e automatização dos processos a partir das RPAS, têm expandido cada vez mais a sua utilização no âmbito florestal (SILVA *et al.*, 2018). Esses equipamentos têm se consolidado como ferramentas auxiliares indispensáveis na prática da silvicultura de precisão/floresta de precisão/floresta 4.0, sendo empregados para atividades como monitoramento e avaliação de falhas e taxas de sobrevivência das mudas em plantios florestais (CHAVES *et al.*, 2015).

Mediante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial das imagens de alta resolução espacial obtidas por sensor RGB embarcado em RPAS para o

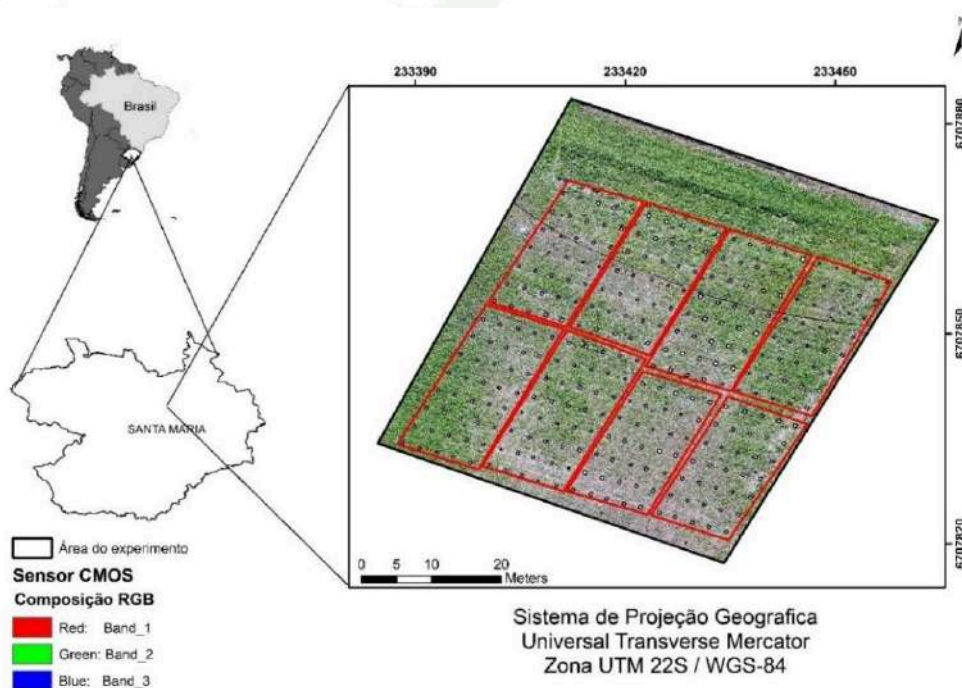
monitoramento da taxa de sobrevivência de mudas em um plantio experimental de *Eucalyptus*, em comparação com o inventário florestal tradicional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em área experimental localizada no Campus Sede da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no município de Santa Maria - RS, Brasil (Figura 1), denominada de Área Nova do Colégio Politécnico da UFSM. De acordo com a classificação Köppen, a região possui um clima subtropical úmido do tipo Cfa, onde os meses mais quentes variam de dezembro a fevereiro, com uma temperatura média de 22 °C, enquanto os meses junho, julho e agosto são os mais frios, com temperatura média de -3 °C e 18 °C (ALVARES *et al.*, 2013).

Figura 1. Plantio de *Eucalyptus spp.* para monitoramento da sobrevivência de mudas localizado na Área Nova do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.



Fonte: Autores (2023).

O solo predominante na área é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico, que se caracterizam por apresentar teores mais altos de óxidos de ferro e fertilidade natural baixa. Além disso, o teor de argila no horizonte subsuperficial é bem maior do que no horizonte superficial, sendo esse incremento de argila percebido sem dificuldade quando se faz o exame de textura, no campo (EMBRAPA, 2018).

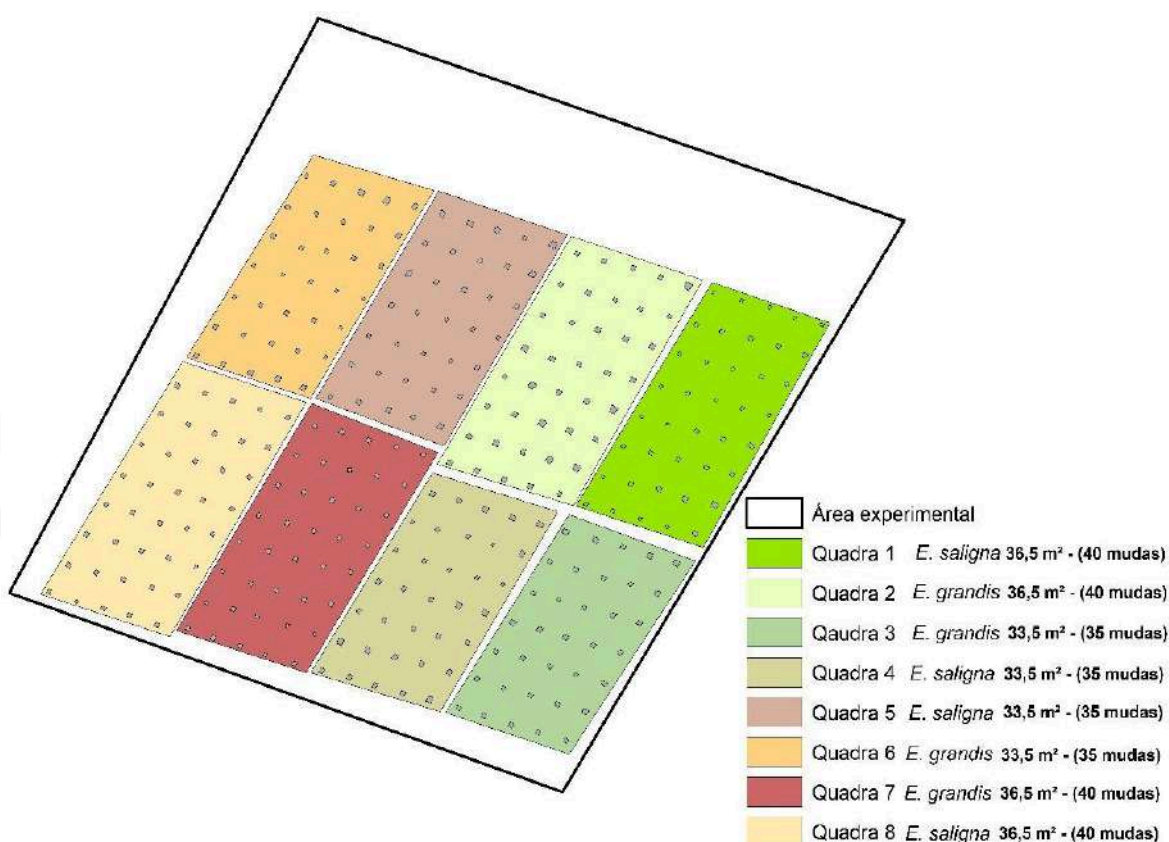
2.2.1 Implantação do experimento

O experimento foi conduzido no dia 1º de julho de 2023, onde inicialmente a área foi dividida em oito blocos, sendo quatro blocos designados para cada espécie (Figura 2). A área é

um talhão agrícola, que continha plantas de cobertura, em composição com algumas espécies tais como *Avena sativa*, *Vicia craca*, *Raphanus sativus* L., dentre outras, para proteção do solo durante o inverno, período de entressafras de soja (2022/2023) e milho (2023/2024).

Ao todo, foram plantadas 300 mudas no experimento, sendo igualmente divididas entre as duas espécies: *Eucalyptus saligna* Sm., e 150 de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, com 120 dias de idade (ciclo de produção no viveiro). O espaçamento entre as mudas foi de 3 m x 2,5 m, abrangendo uma área de 50 m x 45 m (0,225 hectares), e para o plantio das mudas foi realizado manualmente o coroamento e a abertura das covas/berços.

Figura 2. Delineamento Experimental em blocos ao acaso, com quatro blocos e oito quadras utilizadas para o plantio de *E. saligna* e *E. grandis*, na Área Nova do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

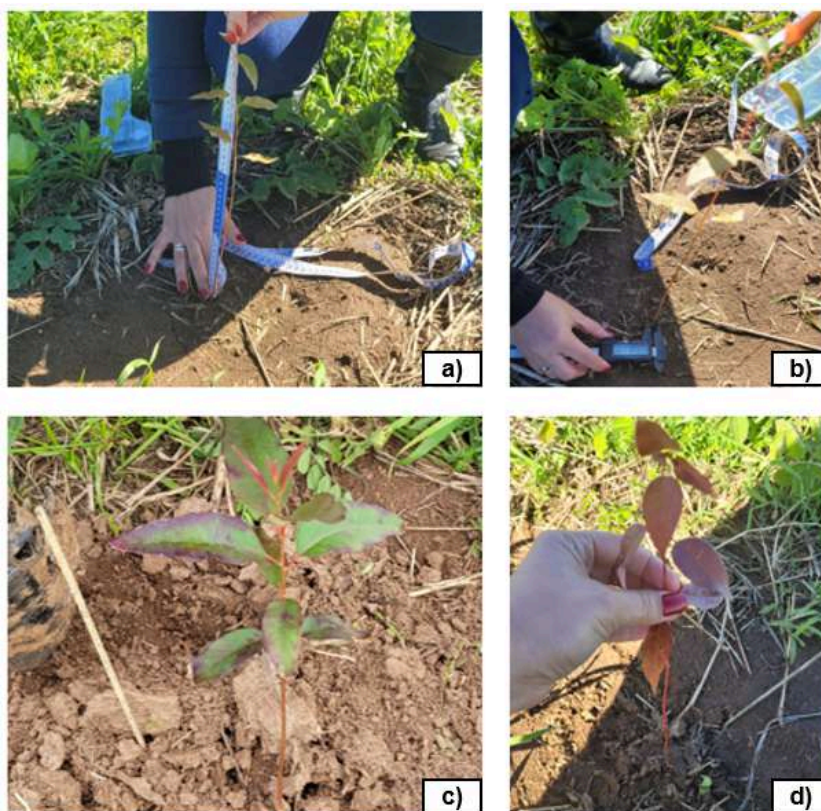


Fonte: Autores (2023).

2.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

O primeiro levantamento de sobrevivência e inventário foi realizado 15 dias após a implantação do experimento (15 de julho de 2023), onde foram mensuradas as variáveis altura (cm), diâmetro do coleto (mm), número total de folhas, número de plantas com sintomas de estresse (seca, atacada por roedores, clorose e necrose – deficiência nutricional), entre outras condições das mudas observadas (Figura 3). Além disso, também foi realizado a reposição de mudas mortas, e a contagem total de todos os indivíduos sobreviventes no experimento. Posteriormente, os dados foram tabulados em uma planilha eletrônica.

Figura 3. Procedimentos realizados no levantamento de sobrevivência de mudas no plantio de *E. saligna* e *E. grandis*, na Área Nova do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.



Legenda: a) Mensuração da altura (cm); b) mensuração do diâmetro do coleto (mm); c) e d) mudas com sintomas de estresse. Fonte: Autores (2023).

2.3. COLETA E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS COM RPAS

O levantamento aéreo foi realizado com um RPAS, quadricoptero *Phantom-4 Advanced Plus*, produzido pela empresa chinesa DJI, uma aeronave classe 3 (1368 g de peso máximo de decolagem - PMD), equipado com sensor CMOS de 20 megapixels, que capta imagens nas bandas espectrais de luz visível (*Red, Green, Blue* - RGB), além de possuir obturador mecânico e distância focal de 8,8 mm (DJI, 2019; DECEA, 2023), com autonomia de voo de aproximadamente 30 minutos. A configuração do plano de voo foi feita no aplicativo *Precision Flight®*, sendo definidos as taxas de sobreposição lateral de 70% e longitudinal 75%, altura de 15 m, velocidade de 10 m.s⁻¹, e resolução espacial (*Ground Sample Distance* - GSD) de 0,3 cm.

O processamento das imagens foi realizado no *software Agisoft Photoscan Professional* (versão 2.0). Foi utilizada a configuração de alinhamento de média qualidade, que envolveram as seguintes etapas para processar as imagens do sensor RGB: No processamento inicial houve a inserção e o alinhamento das imagens, com posterior geração da nuvem esparsa de pontos homólogos, geração do modelo numérico de superfície e ortomosaico, a partir dos parâmetros de orientação interna e externa das imagens. Para este processo, um algoritmo de triangulação aérea automática (AAT) foi usado para refinar a orientação externa de todas as imagens, para calcular o georreferenciamento direto para cada imagem. Para a geração da nuvem de pontos, a posição X, Y, Z e as informações de cores são computadas com base nos pontos de amarração automáticos (ATP) na etapa inicial de processamento. Na geração da ortoimagem, foi gerado um modelo digital

de superfície (MDS), que serviu de referência para a criação do ortomosaico. Por fim, foi obtido um ortofotomosaico de alta resolução no formato de saída *geotiff*. O sistema de coordenadas utilizado foi no formato de coordenadas geográficas atreladas à referência geodésica *World Geodetic System (WGS) 1984 (WGS-84)*.

Posteriormente, no *software* livre QGIS versão 3.28, foi configurada uma vista para a inserção do ortomosaico RGB, onde foram criados arquivos vetoriais, nas feições poligonal e ponto, no formato *shapefile*, para a vetorização das quadras e blocos, bem como para a localização e contagem manual das mudas de ambas as espécies do experimento, utilizando técnicas de fotointerpretação.

2.4 ANÁLISE DOS DADOS

A conferência entre os dados obtidos no levantamento de sobrevivência (verdade terrestre) e os dados oriundos do ortomosaico RGB foi realizada por meio de uma identificação visual das plantas na imagem. Isso foi feito com o objetivo de verificar a possibilidade de localizar a muda, sua condição fitossanitária, e/ou ausência da mesma. Para isso, foram delimitados polígonos para cada área ocupada pelas mudas implantadas, o que possibilitou avaliar as informações adquiridas com o sensor multiespectral, de acordo com os seguintes critérios:

- a) indivíduos corretamente identificados;
- b) condição da muda;
- c) Indivíduos não identificados

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do levantamento de sobrevivência e inventário florestal, foi realizada uma minuciosa contagem dos indivíduos presentes em cada uma das quadras designadas. Essa contagem abrangeu tanto as mudas de *E. saligna* quanto as mudas de *E. grandis*, permitindo uma avaliação da densidade populacional de ambas as espécies. Além da contagem quantitativa, também foram conduzidas avaliações detalhadas das condições fitossanitárias das mudas. Nesse processo, observou-se que diversas mudas foram atacadas por uma espécie de roedor não identificado, havendo corte das plantas no colo, na porção medial, apical, e em certos casos em todas essas posições, sem haver a ingestão das mudas. Os cortes produzidos tinham configuração similar ao de corte em bisel. Foram também observadas pegadas e excrementos em torno da área do plantio.

Como efeito, as mudas apresentaram apenas parte do caule, e perderam todas as folhas, levando muitas à morte, mas também muitas mudas, mesmo sem ponteiro e/ou sem folhas, foram consideradas vivas, uma vez que ainda se fazia notável sinais de vitalidade, tais como verdor no caule, e foram consideradas vivas, pois o gênero *Eucalyptus* apresenta a capacidade de rebrota, como o estímulo ao desenvolvimento das gemas axilares em função da perda de dominância apical (REIS *et al.*, 2014).

No que diz respeito ao levantamento por RPAS com o sensor RGB, foi possível realizar a contagem das mudas, e verificar, como por exemplo, se apresentavam quaisquer sintomas de deficiência, tais como variações na coloração. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos com contagem das mudas no ortomosaico RGB, bem como, a comparação destes em relação à verdade terrestre.

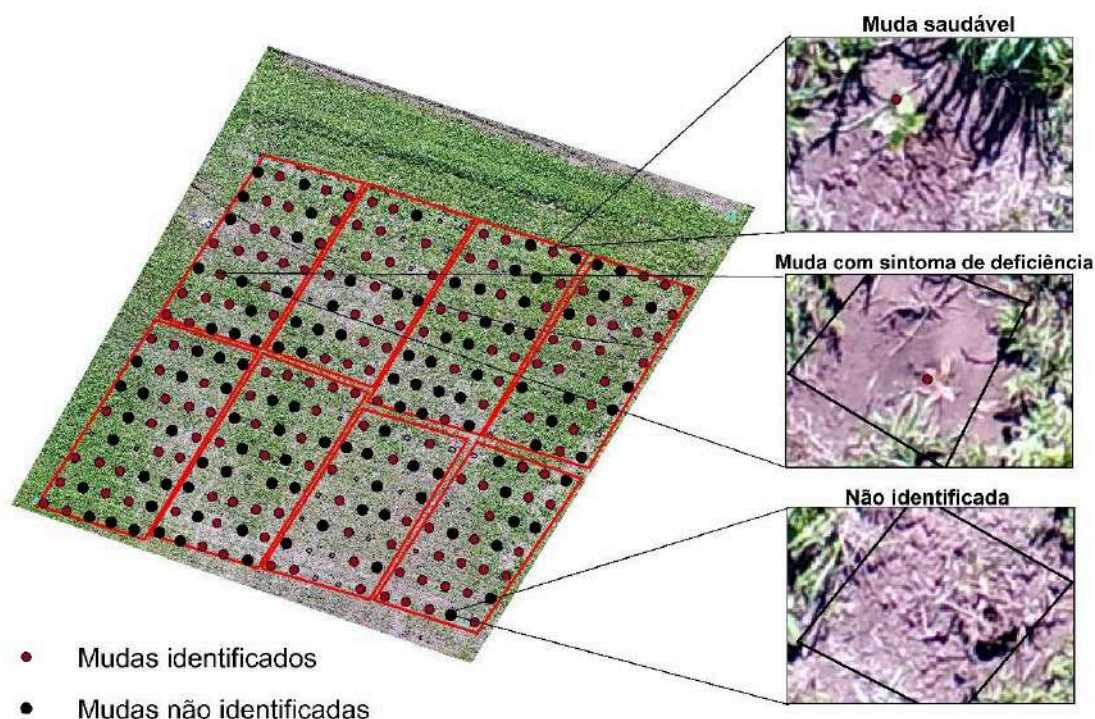
Tabela 1 - Quantificação do número de mudas no plantio de *E. saligna* e *E. grandis*, na Área Nova do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS

Quadra	Identificação via imagem					Verdade terrestre			
	Nº de Indivíduos identificados	Condição da muda			Nº de não indivíduos identificados	Nº de Indivíduos vivos identificados	Condição da muda		
		SP*	SF*	SD			SP*	SF*	SD*
1 (<i>E. saligna</i>)	21	-	-	3	19	40	9		3
2 (<i>E. grandis</i>)	18	-	-	-	22	40	5		4
3 (<i>E. grandis</i>)	22	-	-	1	12	35	12		8
4 (<i>E. saligna</i>)	12	-	-	-	23	35	3		2
5 (<i>E. saligna</i>)	18	-	-	1	17	35	1		2
6 (<i>E. grandis</i>)	22	-	-	5	13	35	8	3	3
7 (<i>E. grandis</i>)	21	-	-	3	19	40	7	1	2
8 (<i>E. saligna</i>)	20	-	-	-	20	40	3		1

Legenda: SP - sem ponteiro; SF - sem folha; SD - sintoma de deficiência. Fonte: Autores (2023).

O reconhecimento das mudas de *Eucalyptus* com técnicas de fotointerpretação no ortomosaico demonstrou que, para cada quadra, cerca de 50% das mudas puderam ser identificadas. Notavelmente, nas quadras 3 e 6, foi possível identificar o maior número de indivíduos vivos. Na quadra 6 também foram verificadas cinco plantas que demonstram algum sintoma de deficiência, o que representou um acréscimo de dois indivíduos em comparação com as observações realizadas em campo (Figura 4).

Figura 4. Identificação e contagem das mudas no plantio de *E. saligna* e *E. grandis*, na Área Nova do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.



Fonte: Autores (2023).

A presença de um baixo número de indivíduos visíveis na imagem pode estar associada às plantas atacadas pelo roedor, resultando em ponteiros ausentes e com poucas folhas ou nenhuma folha. Essa condição torna o processo de identificação visual mais desafiador, além disso, a presença de espécies forrageiras presentes na área também pode ter contribuído para a dificuldade em distinguir as mudas. No total das oitos quadras, foi possível identificar 154 mudas, representando uma taxa de acerto de aproximadamente 51,33% em relação ao inventário de campo. Esses resultados destacam a importância de considerar as diferentes variáveis que podem influenciar a identificação e a contagem das mudas durante análises em imagens aéreas.

Durante o levantamento de campo, verificou-se que algumas mudas apresentavam coloração avermelhada, o que também foi constatado na imagem RGB. Entretanto, é importante ressaltar que não foi possível verificar na imagem outros sintomas como, queima por adubo, folhas secas, bifurcação e estresse hídrico, os quais foram observados em campo. Pontes e Freitas (2015) demonstraram o potencial de utilização de imagens RGB obtidas por RPAS, como recurso de monitoramento de falhas, espaçamento, homogeneidade de plantio e potencial de uso do solo em áreas destinadas ao cultivo de *Eucalyptus*. Os autores conseguiram resultados promissores, alcançando 54% de acerto no potencial de uso do solo nas áreas de cultivo deste gênero, em relação aos dados de campo, além de um índice de falha de 6,42%. Silva et al. (2018), testaram o desempenho de dois softwares para a detecção automática de sobrevivência de mudas de *Eucalyptus*, a partir de um RPAS equipado com câmera RGB. Os resultados obtidos pelos autores constataram que a substituição de métodos tradicionais de levantamento/inventário de sobrevivência de mudas pela avaliação a partir de imagens RPAS pode ser realizada, desde que consideradas as limitações dos erros observados, que ficaram entre 6,9 e 10,2%.

Contudo, a aplicação de imagens RGB de alta resolução espacial obtidas pelo RPAS se apresenta como uma ferramenta promissora e eficaz para obter informações valiosas sobre o crescimento e desenvolvimento de mudas no estágio inicial do plantio. Os resultados encontrados neste estudo sugerem uma amostragem representativa quando comparados à verdade terrestre. Contudo, é fundamental considerar algumas limitações intrínsecas a essa abordagem, como a análise das imagens, qualidade das imagens capturadas e possíveis erros de interpretação. Além disso, o período de 15 dias após o plantio é relativamente curto para tirar conclusões definitivas sobre a sobrevivência a longo prazo, pois mudanças significativas podem ocorrer no desenvolvimento das mudas ao longo do tempo, influenciando diretamente a taxa final de sobrevivência.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A validação das imagens obtidas pelo sensor RGB da RPAS por meio de verificações de campo é uma etapa importante para assegurar a precisão e confiabilidade das análises. Comparar os dados coletados por ambas as abordagens pode proporcionar um entendimento mais completo da situação das mudas e do plantio de *Eucalyptus*.

A utilização de imagens RGB de alta resolução espacial representa um avanço significativo na avaliação da sobrevivência de mudas deste gênero. A abordagem forneceu dados detalhados sobre a distribuição e condição das mudas, embora com algumas limitações.

É importante ressaltar que esses resultados são um ponto de partida importante para análises mais abrangentes, uma vez que, a dinâmica do crescimento das mudas e as influências do ambiente ao longo do tempo demandam uma análise contínua e uma avaliação mais ampla. Esses resultados não apenas fornecem informações iniciais sobre a sobrevivência das mudas,

mas também contribuem para a realização de validações adicionais e embasam as tomadas de decisão no que diz respeito à análise da taxa de sobrevivência. Esse processo é essencial para direcionar ações futuras e garantir o sucesso final da produtividade nas plantações florestais.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP). Ao projeto Advanced Farm e projeto Aquarius, da Universidade Federal de Santa Maria.

REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BRASIL. Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA nº 928/DNOR8**, de 15 de maio de 2023. Brasília, DF, 2023.

CHAVES, Arthur Avelar; LA SCALEA, Rodrigo Antonio. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25, 2015.

DAMASCENO, Ayrton Senna da Silva. et al. Nutritional monitoring of boron in Eucalyptus spp. in the Brazilian cerrado by multispectral bands of the MSI sensor (Sentinel-2). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 29, p. 100913, 2023.

DASH, Jonathan P. et al. Assessing very high-resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 131, p. 1-14, 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa -SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 5ª ed. 355p

GONÇALVES, Kaique Mesquita; SILVA, Mateus Tinoco; LEMOS, Odair Lacerda. Uso de RPA na Estimativa de Falhas e Presença de Formigueiros em um Povoamento Florestal de Eucalipto. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 274-280, 2019.

GUIMARÃES, Nathalie et al. Forestry remote sensing from unmanned aerial vehicles: A review focusing on the data, processing and potentialities. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 1046, 2020.

IBÁ. Indústria Brasileira De Árvores. **Relatório Anual**. (2022). Disponível: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 07 agosto de 2023.

PAJARES, Gonzalo. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 81, n. 4, p. 281-330, 2015.

PONTES, G. R.; FREITAS, T. U. Monitoramento de plantios de eucalipto utilizando técnicas de sensoriamento remoto aplicadas em imagens obtidas por VANT. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, v. 17, n. 2015, p. 4057-4064, 2015.

REIS, Cristiane Aparecida Fioravante et al. *Corymbia maculata*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2014.

SILVA, Naiany et al. INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA AVALIAÇÃO DA SOBREVIVÊNCIA DE MUDAS EM PLANTIOS FLORESTAIS. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 15, n. 27, 2018.



ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E CORRELAÇÃO DE MAPAS COM USO DOS SOFTWARES: GS+ E PLUGIN SMART-MAP DO SIG QGIS

Geostatistical analysis and map correlation using the software: GS+ and the Smart-Map plugin of QGIS GIS.

Renato Souza Santos¹, Sally Deborah Pereira da Silva², Matheus Degrandi Gazzola², Lúcio de Paula Amaral³, Luciano Zucuni Pes⁴

¹Mestrando em Engenharia Florestal — Disciplina EGR888 — Geoestatística Aplicada à Engenharia Florestal, PPGEF-UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, renatosouzaef@gmail.com;

²Doutorandos em Engenharia Florestal — Disciplina EGR888 — Geoestatística Aplicada à Engenharia Florestal, PPGEF-UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, sallydeborah@outlook.com, matheus.d.gazzola@gmail.com;

³Professor da Disciplina EGR888 — Geoestatística Aplicada à Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, PPGEF-UFSM, Avenida Roraima n.º 1000, CEP: 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, amaralufsm@gmail.com;

⁴Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, n.º 1000, CEP 97105-900, Santa Maria — RS, Brasil, lucianopes@politecnico.ufsm.br.

RESUMO

A Agricultura de Precisão (AP) utiliza tecnologias para melhorar a gestão da produção agrícola em todas as etapas, do plantio à colheita, por meio de manejo preciso. Este estudo teve como objetivo comparar o processo e os resultados da interpolação de mapas do Potencial Hidrogeniônico do Solo em Água (pHH₂O) utilizando o método de Krigagem Ordinária Pontual (KOP) em dois diferentes softwares: GS+ e o plugin Smart-Map do QGIS. Os dados utilizados para esta análise de fertilidade do solo consistiram em 33 pontos de coleta georreferenciados, localizados na nova área da Universidade Federal de Santa Maria. Foram configurados os ajustes do semivariograma, seguidos pela geração dos mapas de interpolação por KOP e realizada uma análise estatística para fins de comparação. Os resultados demonstraram que ambos os softwares produziram um modelo gaussiano ajustado. A correlação de Spearman entre os mapas gerados foi de 0,6431, indicando uma correlação positiva moderada e altamente significativa entre eles.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, Análise de dados geoespaciais, Krigagem.

ABSTRACT

Precision Agriculture (PA) employs technologies to enhance the management of agricultural production at every stage, from planting to harvest, through precise handling. This study aimed to compare the process and outcomes of interpolating maps of Soil Hydrogen Ionic Potential in Water (pHH₂O) using the Ordinary Point Kriging (OPK) method in two different software tools: GS+ and the Smart-Map plugin for QGIS. The data used for this soil fertility analysis consisted of 33 georeferenced collection points located in the new area of the Federal University of Santa Maria. Semivariogram adjustments were configured, followed by the generation of OPK interpolation maps, and a statistical analysis was conducted for comparison purposes. The results revealed that both software tools produced a well-fitted Gaussian model. The Spearman correlation between the generated maps was 0.6431, indicating a moderately positive and highly significant correlation between them.

Keywords: Precision Agriculture, Geospatial Data Analysis, Kriging.

1. INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão (AP) abrange tecnologias para o manejo preciso de solos, culturas e insumos, com o objetivo de melhorar a eficiência e detalhamento na gestão da produção agrícola em todas as etapas, do plantio à colheita. Isso inclui intervenções específicas em locais determinados, como a avaliação de indicadores de qualidade do solo, como carbono orgânico, nitrogênio total, macro e micronutrientes, incluindo o pH do solo. (INAMASU *et al.*, 2011 e YEVHENIYA *et al.*, 2014).

O pH do solo desempenha um papel crucial no crescimento das plantas, afetando diversas propriedades e processos no solo. Ele influencia a atividade dos microrganismos e a disponibilidade de nutrientes. Solos ácidos tendem a ter maior disponibilidade de micronutrientes em comparação com solos alcalinos ou neutros, o que beneficia o crescimento das plantas. (GENTILI *et al.*, 2018). Entretanto, conforme Jian *et al.* (2017), alguns micronutrientes em conjunto com elementos não essenciais, podem se tornar tóxicos em altas concentrações. Por outro lado, em solos alcalinos, há um aumento na disponibilidade da maioria dos macronutrientes, mas a disponibilidade de fósforo e micronutrientes é geralmente reduzida. Diversas características das plantas, como altura, ramificação lateral, biomassa, tamanho e número de flores, produção de pólen, entre outras, são influenciadas pelo pH do solo.

É fundamental obter dados confiáveis da distribuição espacial do pH do solo para promover o manejo sustentável e otimizar a produção agrícola. A geoestatística oferece métodos de interpolação, como a Krigagem Ordinária Pontual (KOP), amplamente utilizada devido à sua simplicidade e disponibilidade em sistemas de informações geográficas (SIG) (LEFOHN *et al.*, 2005; MOLIN *et al.*, 2015). De acordo com Grego (2014), a KOP pondera os vizinhos mais próximos do local a ser estimado, visando à imparcialidade e à minimização da variância. Matricialmente, os valores estimados pela KOP em pontos não amostrados são calculados somando os produtos dos valores medidos nos pontos amostrais pelos pesos de ponderação, com base no ajuste do semivariograma, como demonstrado por Amaral *et al.* (2020) para o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$.

Nesse contexto, a elaboração de mapas digitais contendo informações sobre as características do solo pode ser uma ferramenta valiosa para ajudar os produtores na aplicação de taxas variáveis de correção. Isso, por sua vez, requer a criação de mapas temáticos que representem com precisão a realidade da variável na região de estudo. Diversos *softwares* geoestatísticos e SIG foram desenvolvidos com a capacidade de realizar análise espacial e a interpolação por KOP. Entre eles, o *software* GS+ (*Geostatistical for Environmental Science*) (ROBERTSON, 1998), é um dos aplicativos mais completos para os cálculos e apresentação dos resultados oriundos da análise espacial, o qual executa a análise exploratória dos dados por meio da estatística clássica (RECKZIEGEL *et al.*, 2006). O GS+ foi aplicado com sucesso para verificar a distribuição espacial da altura dominante de um povoamento homogêneo de *Tectona grandis* L.f. (PELISSARI *et al.*, 2012), e para caracterizar as distribuições espaciais de pH do solo e condutividade elétrica de campos costeiros na região de Miyandoroud, norte do Irã (EMADI e BAGHERNEJAD, 2014).

Em vez de métodos convencionais e geoestatísticos, novas abordagens que incorporam algoritmos de *Machine Learning* estão sendo utilizadas no mapeamento digital de atributos do solo (KHALEDIAN e MILLER, 2020). Um exemplo notável é o *plugin* Smart-Map, integrado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS para mapeamento digital (PEREIRA *et al.*, 2022). O Smart-Map utiliza a biblioteca Python de código aberto PyKrige (MUPHY *et al.*, 2022) para a interpolação por Krigagem Ordinária Pontual, com base no método dos k-vizinhos mais próximos. Este *plugin* tem sido aplicado em estudos para avaliar parâmetros do solo e criar mapas de fertilidade (PASQUATTO, 2022), bem como para analisar a qualidade da semeadura e sua relação com a variabilidade espacial da produtividade da soja (RIBEIRO, 2021).

O objetivo deste trabalho é comparar mapas interpolados da variável pH_2O do solo obtidos em dois *softwares*, GS+ e o *plugin* Smart-Map do SIG QGIS, usando a mesma base de dados e configuração analítica, reconhecendo a importância de mapas precisos na Agricultura de Precisão (AP).

2. DESCRIÇÃO DE CASO TÉCNICO

2.1 BASE DE DADOS

Foram utilizados dados da análise de solo, relacionados à fertilidade, fornecidos pelo Setor de Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da UFSM. As informações foram coletadas no ano de 2017. Esses dados incluíram um total de trinta e três pontos de coleta georreferenciados nas áreas conhecidas como Voçoroca Norte e Sul, que fazem parte do talhão em análise (AMARAL et al., 2020). Entre os diversos atributos disponíveis, optamos por utilizar o pH_2O , pois foi possível ajustar o semivariograma experimental ao teórico para esse atributo, atendendo aos requisitos da hipótese intrínseca, conforme descrito por Yamamoto e Landim (2013).

2.2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em um talhão agrícola comercial (Voçoroca) pertencente ao Setor de Lavouras do Colégio Politécnico da UFSM, localizado na Área Nova - Campus Sede da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria — RS, Brasil. Segundo a classificação Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido — Cfa, onde os meses mais quentes vão de dezembro a fevereiro com temperatura média de 22 °C, enquanto os meses junho, julho e agosto são os mais frios, com temperatura média de -3 °C e 18 °C (ALVARES et al., 2013). Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS), a classe predominante de solo na localidade deste talhão é do tipo Argissolo bruno acinzentado, de textura média, friáveis e imperfeitamente drenados. Estes solos são ácidos e com baixa saturação de bases nos horizontes mais superficiais, aumentando esses valores à medida que o perfil se aprofunda (EMBRAPA, 2018).

2.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA PONTUAL

Para análise comparativa do interpolador de KOP, utilizou-se o programa geoestatístico GS+®, desenvolvido pela Gamma Design, versão 7.0 (ROBERTSON, 1998) e o *plugin* Smart-Map do SIG *open source* QGIS, versão 3.26 (PEREIRA et al., 2022). Em ambos foi realizado o ajuste de semivariograma a sentimento (ZIMBACK, 2001) como os mesmos dados e configuração analítica do semivariograma. A configuração de ajustes do semivariograma com base nos valores da distância de análise e tamanho do passo (Lag) foi igual para ambos os *softwares*. Os parâmetros resultantes de análise foram valores de patamar ($C+C_0$), alcance (a), efeito pepita (C_0), contribuição (C), modelo, coeficiente de Determinação (R^2) e soma do quadrado dos resíduos (SQR).

Para realizar a interpolação do atributo de pH_2O , uma grade de interpolação de 100 m x 100 m (1 ponto amostral por hectare) foi utilizada para executar o ajuste do semivariograma e a KOP. Uma imagem interpolada foi gerada para conter o resultado da interpolação. Foi utilizado um raio de busca foi de 858,97 metros, definido pelo algoritmo do GS+, e o número máximo de vizinhos foi definido como 16, em ambos os *softwares*, e os mapas interpolados foram gerados. A validação cruzada foi utilizada para averiguar o desempenho dos *softwares* utilizados, os parâmetros obtidos foram coeficiente de regressão, erro padrão para o coeficiente de regressão; coeficiente de determinação (R^2), intercepto (y); e erro padrão de estimativa.

2.4 CORRELAÇÃO DE MAPAS

Inicialmente, no SIG ArcMap versão 10.8 (ESRI, 2019), foram ajustados os mapas de interpolação por KOP, gerados nos *softwares* GS+ e Smart-Map. Em seguida, os arquivos *raster* foram convertidos em um *shapefile* de pontos. Posteriormente, os dados da tabela de atributos foram exportados no formato csv, para realização das análises estatísticas. As análises estatísticas foram executadas no ambiente de programação colaborativo *Google Colab* (GOOGLE COLABORATORY, 2023). Foram aplicados os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e o coeficiente de correlação de Spearman.

O teste de Kolmogorov-Smirnov tem em vista avaliar o ajuste de uma curva de distribuição, comparando a distribuição cumulativa empírica com uma distribuição hipotética de referência. Ele quantifica a diferença máxima entre as probabilidades das curvas de distribuição de duas populações (MASSEY JUNIOR, 1951). O coeficiente de Spearman foi utilizado para avaliar a intensidade e a direção da relação monótona entre duas variáveis. Esse coeficiente considera a ordem das observações, em vez dos valores originais, e pode ser aplicado tanto em situações de dados lineares quanto não lineares (SOUSA, 2013). Por fim, foram gerados histogramas para a melhor apresentação do conjunto de dados, complementando as análises realizadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA PONTUAL

Utilizando-se os dados de pH_{H₂O} do solo da área em estudo, foram obtidos os semivariograma, por meio dos *softwares* GS+ e o Smart-Map do QGIS. A análise geoestatística, efetuada através do semivariograma, conforme descrito por Isaaks e Srivastava (1989), mostrou que o pH_{H₂O} do solo estudado apresenta dependência espacial. Para o ajuste dos semivariograma, o modelo obtido foi o gaussiano. Os valores de Distância máxima de análise e o passo (Lag) foram padronizados nos dois *softwares*, considerando o semivariograma experimental para os pares de observações no espaço até uma distância máxima de 400 metros e lag de 100 metros. A figura 1 ilustra os semivariogramas experimentais e o modelo gaussiano ajustado, gerados em ambos os *softwares* (GS+ e Smart-Map). A Tabela 1 apresenta o resumo quantitativo dessa etapa da análise.

Tabela 1 - Apresentação das características de ajuste do variograma experimental para os dois *softwares*.

Característica	Ajuste GS+	Ajuste Smart-Map
Modelo	Gaussiano	Gaussiano
Efeito Pepita (C ₀)	0,0001	0,063
Contribuição (C)	0,1741	0,15
Alcance (a)	213,0422	381,863
Patamar (C+C ₀)	0,1742	0,213
R ²	0,975	0,896

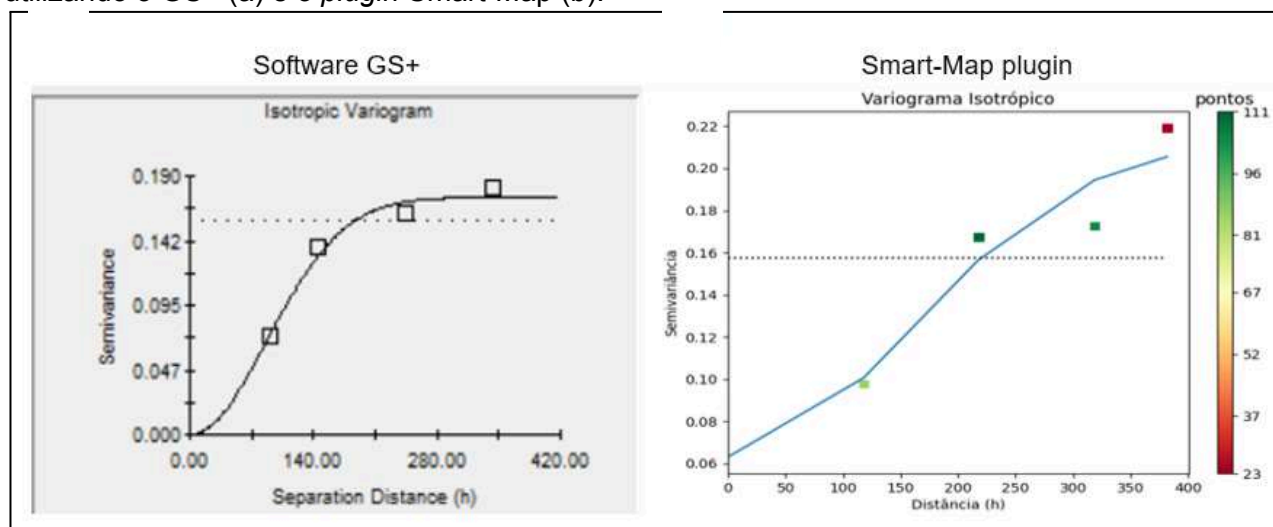
Fonte: Autores (2023).

Ao observar os variograma obtidos nos dois *softwares* considerados, nota-se que houve diferença entre os parâmetros geoestatísticos obtidos, mesmo ao utilizar dados idênticos, mesma configuração analítica de ajuste, sendo observado o modelo Gaussiano para as situações. Conforme Yamamoto e Landin (2013), o efeito pepita é uma medida da variação aleatória não explicada pelo modelo. Quanto menor o valor do efeito pepita, melhor o ajuste, pois indica que o

modelo é capaz de capturar mais da variabilidade espacial dos dados. Nesse caso, o *software* GS+ apresentou um valor de efeito pepita significativamente menor do que o Smart-Map, sugerindo um melhor ajuste em relação à variabilidade aleatória dos dados.

Quanto à contribuição, quanto maior o seu valor, melhor o ajuste, pois indica que o modelo está capturando uma maior porcentagem da variação espacial dos dados (YAMAMOTO e LANDIN, 2013). O GS+ apresentou um valor ligeiramente maior de contribuição em comparação com o Smart-Map, sugerindo um ajuste um pouco melhor na explicação da variação dos dados.

Figura 1 - Apresentação do variograma experimental (pontos) e modelo gaussiano ajustado (linha) utilizando o GS+ (a) e o *plugin* Smart-Map (b).



Fonte: Autores (2023).

Em relação ao alcance, um menor valor de alcance indica melhor ajuste, pois pode-se inferir que a correlação entre os pontos ocorre em distâncias menores (YAMAMOTO e LANDIN, 2013). O GS+ também apresentou valores inferiores quando comparado ao Smart-Map, sugerindo um melhor ajuste na modelagem da correlação espacial dos dados.

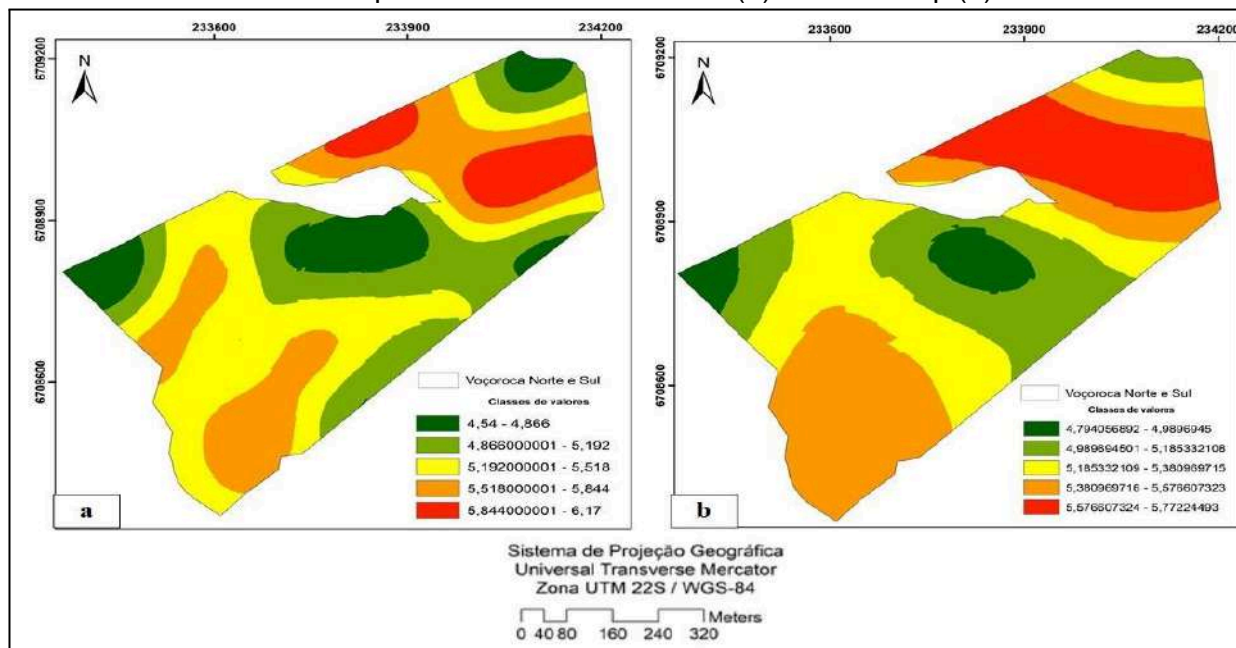
O patamar pode ser útil para identificar tendências ou comportamentos específicos nos dados. Nesse estudo, o valor do patamar é um pouco maior no Smart-Map em comparação com o GS+, indicando uma maior correlação máxima entre os pontos nos dados ajustados pelo Smart-Map.

Por fim, ao avaliar o R^2 , quanto mais próximo de 1 for o valor do R^2 , melhor o ajuste, pois indica que o modelo é capaz de explicar uma maior parte da variação dos dados. O GS+ apresentou um valor de R^2 maior do que o Smart-Map, indicando um ajuste melhor na explicação da variação dos dados.

Outro ponto a ser destacado é que, no *software* GS+ existe o recurso de excluir pontos da observação, para proporcionar ganhos na qualidade do ajuste do semivariograma. Essa mesma função não está disponível no Smart-Map. De acordo com Bucene e Zimback (2003), até 10 % das amostras podem ser ocultas para melhor ajuste do modelo. Com tudo, esse recurso não foi utilizado no ajuste realizado com o *software* GS+.

A partir da análise espacial realizada, e observada a existência da dependência espacial através da análise geoestatística, fez-se, então, a interpolação dos dados por Krigagem Ordinária Pontual para o atributo em estudo. A figura 2 apresenta, respectivamente, os mapas gerados por KOP pelo GS+ (a) e o *plugin* Smart-Map (b).

Figura 2 - Apresentação dos mapas de predição de pH_2O (2017) gerados pela krigagem ordinária pontual nos *softwares* GS+ (a) e Smart-Map (b).



Fonte: Autores (2023).

Pode-se observar que o *software* GS+ estimou o maior valor de pH_2O em 6,17 e o menor em 4,54, representando o intervalo do conjunto de dados. Por outro lado, o *plugin* Smart-Map do QGIS obteve os valores observados de 5,77 e 4,79, correspondendo ao intervalo do conjunto de dados de pH_2O . Essa diferença pode ser atribuída às diferentes estruturas de cálculo dos algoritmos utilizados por cada aplicativo. Em suma, o GS+ estimou um total de 327.436 valores de pH_2O , enquanto o *plugin* Smart-Map, com as mesmas configurações, estimou 327.413 valores de pH_2O .

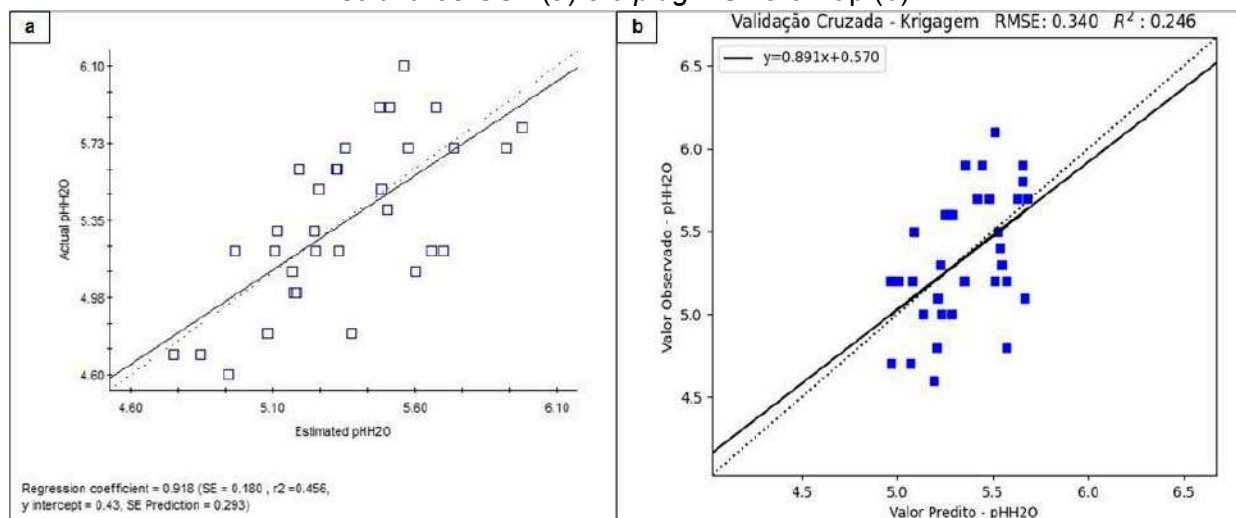
Rosa *et al.* (2015), ao compararem mapas interpolados por krigagem em três diferentes *softwares* (ArcGIS 10.1, ArcGIS 9.3 e R) para a mesma base de dados e mesma configuração analítica, também encontraram diferenças significativas em toda a região de estudo quando foram comparados aos mapas gerados pelo R e ArcGIS.

Os resultados dos parâmetros de validação cruzada obtidos com os *softwares* GS+ (a) e o Smart-Map (b), estão apresentados na figura 3.

Ao analisar os valores de R^2 e RMSE (Root Mean Square Error) com SE Prediction, pode-se observar que a interpolação por KOP do *software* GS+ foi melhor ajustada aos dados em relação ao Smart-Map. O R^2 mais alto do GS+ indica que houve maior correlação entre o modelo e os dados, enquanto o RMSE mais baixo indica que o modelo tem um erro médio mais baixo. O valor de R^2 indica que 45,6% da variação nos dados é explicada pelo modelo.

No Smart-Map foi observado um maior erro de estimativa, e reta com menor coeficiente angular. Além disso, também houve um efeito de suavização maior neste *software* quando comparado ao GS+. O efeito de suavização é inerente a alguns algoritmos de interpolação por krigagem, no entanto, o objetivo constante é realizar ajustes com a menor suavização possível.

Figura 3 - Apresentação dos resultados da validação cruzada dos dados, obtidos com os *softwares* GS+ (a) e o *plugin* Smart-Map (b).



Fonte: Autores (2023).

3.2 CORRELAÇÃO DOS MAPAS INTERPOLADOS

O teste de normalidade aos dados estimados de pH_{H2O} nos *softwares* GS+ e Smart-Map foi realizado por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. Para ambos, os resultados obtidos foram de *p-value* igual a 0,999. Como este valor foi maior que o nível de significância adotado (0,05), pode-se concluir que os dados não seguem uma distribuição normal.

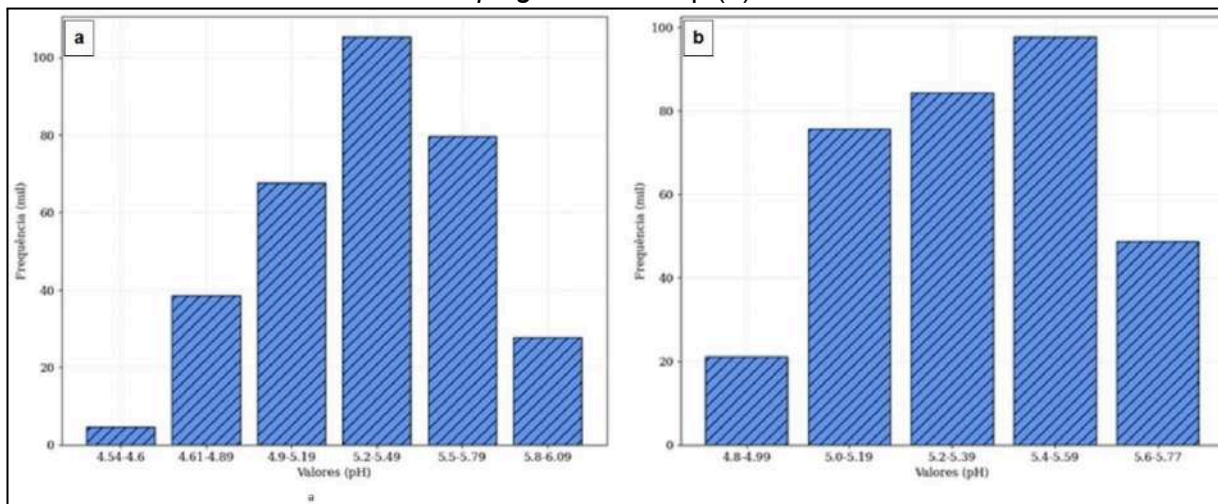
Quanto ao resultado da correlação de Spearman entre os dados de pH_{H2O} gerados pelo *software* GS+ e pelo *plugin* Smart-Map, obteve-se o valor de 0,6431, com o nível de significância *p-value* < 0,01, indicando uma correlação positiva moderada e altamente significativa entre eles (JACQUES, 2003). Pode-se considerar que os mapas de KOP gerados pelos *softwares* GS+ e Smart-Map para os dados de pH_{H2O} estão correlacionados positivamente, indicando consistência entre os resultados obtidos pelos dois métodos de análise.

Os histogramas apresentados na Figura 4 (a, b), são referentes às classes de distribuição dos valores de pH_{H2O} interpolados, cuja matriz foi convertida para *shapefile* de feição pontual, para ter acesso aos dados dos mapas de KOP gerados nos dois *softwares*. Ao observar o histograma dos dados na figura 4(a) verificou-se que um maior número de ocorrência de valores se encontra na faixa de 5,2 a 5,49. Enquanto na figura 4(b), os valores estimados de pH_{H2O} pelo Smart-Map, encontram-se na faixa de 5,4 a 5,9.

Dessa forma, com base na análise estatística gerada, pode-se concluir que tanto o conjunto gerado pelo GS+ quanto pelo Smart-Map apresentaram comportamento similar em sua distribuição de dados. Porém, o GS+ apresentou uma distribuição de valores estimados mais equilibrada e com menor assimetria e curtose.

Em relação às outras características (grande grupo e subgrupo), o solo em estudo não possui classificação devido à ausência de características alíticas (EMBRAPA, 2018). Os níveis de pH influenciam indiretamente no desenvolvimento das culturas, sendo a faixa ideal de pH, de uma maneira generalista, entre 5,5 e 6,5 (MALAVOLTA, 2006). Isso demonstra que os valores estimados, em ambos os métodos, estão na faixa neutra esperada para a classe do solo.

Figura 4 - Histograma dos valores estimados de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ gerados pelo *software* GS+ (a) e pelo *plugin* Smart Map (b).



Fonte: Autores (2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se através desse trabalho que a escolha do *software* para a realização de uma análise geoestatística e interpolação por krigagem ordinária pontual, podem trazer grandes diferenças no produto final, ou seja, nos mapas que orientam em tantas decisões importantes no contexto da agricultura de precisão. A correlação de Spearman demonstrou que os mapas interpolados entre os diferentes *softwares* possuem diferenças significativas, mesmo com os dados inseridos e as configurações iniciais da interpolação e krigagem sendo idênticas.

Com base nos valores fornecidos, o *software* GS+ demonstrou ajustes mais favoráveis em comparação com o Smart-Map na análise geoestatística. No entanto, é importante considerar outros aspectos e realizar uma avaliação abrangente para uma conclusão definitiva sobre qual *software* oferece os melhores ajustes.

Por fim, ressalta-se que outros trabalhos devem ser feitos comparando essas duas ferramentas estatísticas para outros atributos do solo, além de serem testados outras bases de dados, com mais pontos de observação (maior esforço amostral) e com diferentes complexidades de ambiente e manejo.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao projeto Advanced Farm 360° do Colégio Politécnico da UFSM pela disponibilidade dos dados para a realização deste trabalho. Trabalho realizado na disciplina EGR888 – Geoestatística Aplicada à Engenharia Florestal, Turmas 10 e 11, curso de Mestrado e Doutorado em Engenharia Florestal da UFSM (PPGEF/UFSM).

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMARAL, Lúcio de Paula *et al.* **COMO GEOESTATÍSTICA E KRIGAGEM ORDINÁRIA REALIZAM ESTIMATIVAS? UM EXEMPLO DESCRITIVO PARA PREDIÇÃO DE pH NO SOLO E INCERTEZA ASSOCIADA**. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E MÁQUINAS PRECISAS, 5., 2019, Não Me Toque. Anais [...] . -: -, 2020. p. 633-640. Disponível em: https://www.apsulamerica.com.br/_files/ugd/8fdf67_0638c290ec4441d6970a76f7800f92c0.pdf. Acesso em: 10 set. 2023

BUCENE, Luciana Corpas; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. **Comparação de métodos de interpolação e análise espacial em dados de pH, em Botucatu-SP.** Irriga, v. 8, n. 1, p. 21-28, 2003.

EMADI, Mostafa; BAGHERNEJAD, Majid. **Comparison of spatial interpolation techniques for mapping soil pH and salinity in agricultural coastal areas, northern Iran.** Archives of Agronomy and Soil Science, v. 60, n. 9, p. 1315-1327, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa -SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 5ª ed. 355p

GENTILI, Rodolfo *et al.* **Effect of soil pH on the growth, reproductive investment and pollen allergenicity of *Ambrosia artemisiifolia* L.** Frontiers in plant science, v. 9, p. 1335, 2018.

GOOGLE COLABORATORY. **Google Colab.** [Plataforma de nuvem colaborativa para Python]. 2023. Disponível em: <https://colab.research.google.com>. Acesso em: 08 jul. 2023.

GREGO, Celia Regina. **Geoestatística aplicada a Agricultura de precisão – Resultados de um novo olhar.** EMBRAPA, Brasília – DF, 2014.

INAMASU, Ricardo Y *et al.* (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar.** São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 31-40.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989. 560 p.

JACQUES, Sidia Maria Callegari. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.

JIANG, Y. *et al.* **The effect of soil pH on plant growth, leaf chlorophyll fluorescence and mineral element content of two blueberries.** In: XI International Vaccinium Symposium 1180. 2016. p. 269-276.

KHALEDIAN, Yones; MILLER, Bradley A. **Selecting appropriate machine learning methods for digital soil mapping.** Applied Mathematical Modelling, v. 81, p. 401-418, 2020.

LEFOHN, A. S; KNUDSEN, H. P; SHADWICK, D. S. **Usando krigagem ordinária para estimar as concentrações sazonais W126 e N100 24h para os anos 2000 e 2003.** 2005. Disponível online: https://webcam.srs.fs.fed.us/impacts/ozone/spatial/2000/contractor_2000_2003.pdf

MALAVOLTA, Euripedes. **Manual de nutrição mineral de plantas.** Agronômica Ceres, São Paulo, 2006. 638p.

MASSEY JUNIOR, Frederick J. **The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit.** Journal Of The American Statistical Association. Estados Unidos, p. 68-78. mar. 1951.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão.** São Paulo: Editora de Textos, 2015. 238p.

Muphy, B.; Mullher, S.; Yurchark, R. **GeoStat-Framework/PyKrige, Versão v1.5.1.** Disponível online: <https://github.com/GeoStat-Framework/PyKrige> (acessado em 8 de janeiro de 2020).

PASQUATTO, Igor Alexandre. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento no desenvolvimento de mapas de fertilidade do solo.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UFTPR, Pato Branco - PR, 2022.

PELLISSARI, Allan *et al.* **Modelagem geoestatística da dinâmica espacial da altura dominante de *Tectona grandis* Lf (TECA)**. Enciclopédia Biosfera, v. 8, n. 15, 2012.

PEREIRA, G. W. *et al.* **Smart-map: an open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging**. Agronomy, v. 12, n. 6, p. 1350, 2022.

RECKZIEGEL, L. N. *et al.* **Uso do software GS+ no estudo da variabilidade espacial do sistema solo-planta-atmosfera**. In: XV Congresso de Iniciação Científica. Universidade Federal de Pelotas - UFPEL, 2006.

RIBEIRO, W.E. M. R. **Variabilidade espacial da produtividade da soja e sua correlação com a qualidade da semeadura**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, Dourados - MS, 2021.

ROBERTSON, G. P. **GS+: geostatistics for the environmental sciences**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998, 152 p.

ROSA, L. M. F. *et al.* **KRIGAGEM: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE 2 VERSÕES DO ARCGIS E O R**. In: IV Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias, Botucatu, São Paulo, 2015.

SOUSA, Áurea. **Coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados?** Correio dos Açores: Matemática. Brasil, p.19, mar 2019.

VOLCHKO, Yevheniya *et al.* **A minimum data set for evaluating the ecological soil functions in remediation projects**. Journal of soils and sediments, v. 14, p. 1850-1860, 2014.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

ANÁLISE DO SUPRIMENTO HÍDRICO DO ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO POR MEIO DO USO DE GEOTECNOLOGIAS

Analysis of water supply of rice irrigated by flooding through the use of geotechnologies

Pedro Trevisan Hamann¹, Zanandra Boff de Oliveira¹, Carlos Eduardo da Silva²,
Endiele Lopes², Marcelo de Freitas³, Eduardo Leonel Bottega¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Programa De Pós-Graduação Em Agricultura De Precisão
Colégio Politécnico - Prédio 70, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil, pthamann@gmail.com
zanandraboff@gmail.com, eduardo.bottega@ufsm.br.

² Universidade Federal de Santa Maria, Rod. Taufik Germano nº 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio
Grande do Sul, Brasil, dasilvakadu03@gmail.com, endielelopes@gmail.com.

³ Instituto Riograndense do Arroz - Rio Grande do Sul, Brasil, marcelo-freitas@irga.rs.gov.br

RESUMO

O aumento da eficiência no uso da água, além de maximizar a produtividade das culturas agrícolas, possui grande importância no contexto atual de preservação dos recursos hídricos. O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do uso de geotecnologias, como ferramenta para análise do suprimento hídrico do arroz irrigado por inundação, e foi realizado em talhão de lavoura comercial de 33 hectares em propriedade rural em Cachoeira do Sul/RS. A avaliação do suprimento hídrico, realizada com o mapeamento do tempo de entrada de água, bem como o mapeamento do índice de vegetação VARI foram realizados por meio do uso de RPAS. Os resultados obtidos indicaram tendência de redução linear nos componentes de produtividade e na produtividade do arroz, na medida que ocorre o atraso da entrada de água de irrigação no talhão, enquanto o mapeamento do índice de vegetação indicou que há correlação linear positiva entre os valores do índice VARI e os valores dos componentes de produtividade e a produtividade do arroz. O uso de geotecnologias demonstrou-se como ferramenta muito eficaz para a análise da irrigação em arroz.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., Manejo da irrigação, RPAS.

ABSTRACT

Increasing water use efficiency, in addition to maximizing the productivity of agricultural crops, is of great importance in the current context of preserving water resources. The present study aimed to evaluate the efficiency of the use of geotechnologies, as a tool for analyzing the water supply of flood-irrigated rice, and was carried out in a 33-hectare commercial crop plot on a rural property in Cachoeira do Sul/RS. The assessment of water supply, carried out by mapping the water input time, as well as mapping the VARI vegetation index were carried out using RPAS. The results obtained indicated a tendency for a linear reduction in the productivity components and rice productivity, as the input of irrigation water into the field is delayed, while the mapping of the vegetation index indicated that there is a positive linear correlation between the values of the VARI index and the values of the productivity components and rice productivity. The use of geotechnology has proven to be a very effective tool for analyzing rice irrigation.

Keywords: Remote Sensing, Geotechnologies. *Oryza sativa*. Irrigation Management.

1. INTRODUÇÃO

O arroz é um dos mais importantes cereais para alimentação humana no mundo. Ocupa a terceira posição em produção mundial, atrás apenas do trigo e do milho. Segundo a FAO (2022), sua produção no ano de 2020 foi de 517,0 milhões de toneladas de grãos beneficiados. Desempenha papel estratégico na segurança alimentar mundial, sendo base alimentar para mais de 3 bilhões de pessoas, correspondendo a 29% do total de grãos usados na alimentação humana (base casca) (SOSBAI, 2018).

Na metade sul do Rio Grande do Sul (RS), a cultura do arroz irrigado possui grande importância econômica e o seu cultivo no Estado, com produção de 7.238.560 toneladas na safra 2022/23 (IRGA, 2023), representa 72% da produção nacional do cereal, que foi de 10.033.300 toneladas (CONAB, 2023). A produtividade também se destaca, alcançando média 8.786 kg ha^{-1} na referida safra, com incremento de 77% nos últimos 32 anos (4.950 kg ha^{-1} na safra 1990/91), colocando o Estado como uma das regiões de maior produtividade do cereal no mundo, sendo referência também quanto à qualidade de grãos.

Toda essa evolução é resultado da melhoria do manejo, da genética e da adoção de rotação de culturas, principalmente com a soja, promovidos por instituições de pesquisa e extensão públicas e privadas e utilizados nas lavouras pelos produtores. Porém, ainda existe grande lacuna de produtividade quando se compara a média geral do RS com as obtidas em alguns talhões dos melhores produtores em que são obtidas mais de 13 toneladas ha^{-1} em cultivares e até mais de 15 toneladas ha^{-1} em híbridos.

Na irrigação, para o adequado suprimento hídrico da cultura do arroz, estima-se que seja utilizado de 6 a 12 mil $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água, com vazão de 0,7 a 1,75 L/s por hectare (SOSBAI, 2018). O tempo médio de irrigação das lavouras varia de 80 a 110 dias, conforme o ciclo da cultivar, época de semeadura e condições climáticas. Isso representa uma alta demanda de água em comparação com outras culturas, e, por isso, a lavoura de arroz é tema importante no contexto atual do uso dos recursos hídricos.

Nesse contexto, o correto manejo da irrigação é fundamental para a obtenção de altas produtividades. Conforme Grohs et al. (2019), a entrada de água no momento ideal e com altura de lâmina adequada, interage e beneficia positivamente com outros fatores importantes como a disponibilidade de nutrientes, em especial o nitrogênio, incidência de pragas e doenças e no controle de plantas daninhas. Isso pode ser observado em diversos estudos recentes sobre o tema, em que se determinou o momento ideal do início da irrigação por inundação nas áreas.

Assim, é recomendado o início da irrigação, conforme a SOSBAI, nos estádios V3-V4, e, mais recentemente, conforme a Circular Técnica Nº 009/Fevereiro/2021 do IRGA, a irrigação a partir do estágio V1 (escala fenológica de Counce et al., 2000). Segundo este último trabalho, cada dia de atraso a partir deste momento, representa perda de 64 kg ha^{-1} quando não há competição com plantas daninhas e de 274 kg ha^{-1} com a presença de plantas daninhas no talhão. Bergmann et al. (2019), também obteve resultados significativos nesse sentido, em que cada dia de atraso a partir do estágio V3, representa perda de $86,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de produtividade.

Apesar de significativas melhorias no manejo da irrigação nos últimos anos, principalmente quanto ao seu momento inicial, o que se observa a campo, entretanto, é, ainda, uma deficiência muito grande na velocidade de enchimento e no tempo total que se leva para finalizar a inundação da área para que seja mantida uma lâmina uniforme durante o ciclo até o momento adequado para a supressão.

Para Valencia (2020), o sensoriamento remoto evidencia-se como base útil para estudos de geração de melhores rendimentos nas áreas e para dar ferramentas aos produtores de tomadas de decisões no gerenciamento da atividade agrícola. Nesse contexto, a utilização de RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) tem sido proposta para o manejo da irrigação do arroz em outros países, como forma de otimizar a utilização dos recursos e aumentar a produtividade. Resultados obtidos no RS também mostram que, em conjunto com outras ferramentas como politubos e medições de vazão e energia, resultam em maior produtividade de grãos em relação aos sistemas de irrigação tradicionais (CASSOL et al., 2017).

Dessa forma, o desenvolvimento de técnicas inovadoras por meio do uso de geotecnologias que contribuam para melhorar o manejo da irrigação por inundação do arroz, proporcionando a entrada de água no momento correto, de forma rápida e com um adequado

suprimento hídrico para a cultura ao longo do ciclo, como a adoção de imagens de satélite para análise espaço-temporal das lavouras, podem ser consideradas estratégias que deverão contribuir para o aumento da produtividade da cultura e da eficiência no uso dos recursos hídricos. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do uso de geotecnologias, em especial imagens de RPAS, como ferramenta para análise do suprimento hídrico do arroz irrigado por inundação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na safra 2022/23, em talhão de lavoura comercial de arroz em sistema de cultivo mínimo, com preparo antecipado, com área de 33 hectares. A propriedade está localizada na localidade do Irapuazinho, em Cachoeira do Sul/RS (30°26'4.23"S, 53°10'18.59"O, altitude 53m). O solo predominante na região de estudo é classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico, unidade Vacacaí (STRECK, 2008). As características de solos e relevo da região beneficiam a irrigação por inundação, contribuindo para que as áreas possuam excelente aptidão ao cultivo do arroz. Quanto ao clima, é classificado por Köppen como subtropical úmido - Cfa.

O talhão foi amostrado com grid que totalizou 38 pontos em que foram coletadas, inicialmente, amostras para análises químicas e físicas do solo e realizada medição da condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m^{-1}). Posteriormente, nestes mesmos pontos foi feita avaliação do tempo de entrada da água de irrigação, índice de vegetação e, em parte deles, coletadas amostras para avaliação da produtividade e de componentes de rendimento, conforme delimitação das zonas de manejo a partir dos atributos físico-químicos do solo.

A cultivar utilizada foi a IRGA 431 CL, que apresenta ciclo precoce, destacando-se pelo alto potencial produtivo e resposta à adubação, ocupando 9,2% da área semeada no RS na safra 2022/23 (IRGA, 2023). A semeadura da área ocorreu no dia 12/10/2022, dentro do período ideal recomendado para a cultura, com uma densidade de 95 kg.ha^{-1} de sementes e a emergência ocorreu no dia 29/10/2022. O início da irrigação ocorreu em 16/11/2022, entre os estádios V1-V2, após um período de poucas chuvas, em que foi necessário aguardar a uniformização das plantas para a entrada da água. A adubação de base foi feita com 120 kg.ha^{-1} da fórmula comercial (11-52-00, respectivamente, Nitrogênio – Fósforo e Potássio) na linha e 200 kg.ha^{-1} da fórmula comercial (00-00-60, respectivamente Nitrogênio – Fósforo e Potássio) aplicada à lanço.

Figura 1-Talhão de estudos com grid amostral.



Fonte: Autores (2023)

Para a avaliação da entrada da água no talhão, foram realizados voos, conforme a Tabela 1, a uma altura de 120 m e as imagens foram obtidas com sobreposição lateral de 65% e frontal de 75%, resultando em aproximadamente 120-150 imagens por voo para a geração dos ortomosaicos. A aeronave utilizada foi a DJI Mini 2, que é equipada com um sensor com um sensor que atua na região do espectro visível (red, green, blue – RGB) de 12 MP.

Tabela 1- Datas e horários dos voos.

Voo	Estádio	Data	Hora
1	V1-V2 - Entrada da Água	17/nov	18:00
2	V1-V2 - Entrada da Água	19/nov	09:00
3	V1-V2 - Entrada da Água	20/nov	17:00
4	V3-V4	05/dez	10:00
5	R2 - Emborrachamento	11/jan	11:00

Fonte: Autores (2023)

A partir das imagens foram gerados ortomosaicos por meio do software Agisoft Metashape Professional 1.5.1. Para a obtenção do mapa de evolução da irrigação, foram traçadas curvas em cada ortomosaico, e, a partir dessas curvas, foi feita a interpolação dos vetores e obtida imagem com os valores interpolados. A partir disso, se extraiu, nos pontos do grid amostral pré-determinado, os valores de tempo de entrada de água, em horas a partir do início, para aqueles locais. Para análise GIS foram utilizados os softwares ArcGIS Desktop 10.8 e QGIS 3.30.

A partir dos dados obtidos quinto voo (Tabela 1), calculou-se o Índice de Vegetação utilizado foi o Visible Atmospherically Resistant Index (VARI), descrito por Gitelson et al. (2002), calculado conforme a Equação (1) a seguir:

$$VARI = \frac{(G-R)}{(G+R-B)} \quad (1)$$

Em que: VARI = *Visible Atmospherically Resistant Index* (Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível); R = Banda do Vermelho; G = Banda do Verde; B = Banda do Azul

A colheita foi feita no estádio R9, com 20-24% de umidade nos grãos (SOSBAI, 2018) com amostras de 0,5m X 0,5m, e 3 repetições por ponto em 11 pontos (Figura 1), conforme zonas de manejo previamente estabelecidas, cujo objetivo não contempla este estudo. Foram avaliados os componentes de rendimento: panículas por m², grãos panícula⁻¹ e produtividade (kg ha⁻¹). Para a obtenção da produtividade, o peso obtido na área conhecida, foi corrigido para a umidade de 13% e extrapolado para 10.000 m².

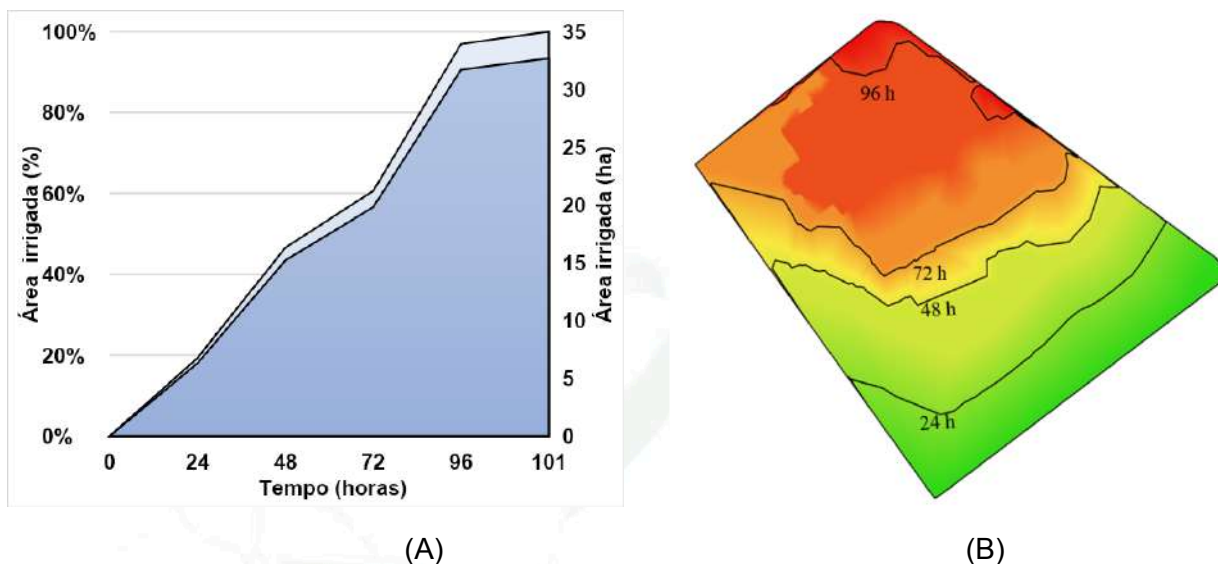
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O avanço da lâmina de irrigação no talhão ocorreu em um tempo total de 101 h (Figura 2 a). Nas primeiras 48 h a água chegou em aproximadamente 50% da área, indicando um adequado suprimento nesta região. Já, o mapa obtido por meio da interpolação dos ortomosaicos gerados (Figura 2 b), representa espacialmente o tempo de entrada de água em cada ponto do talhão, possibilitando posteriormente correlacionar os dados de índice de vegetação, produtividade e de componentes de rendimento. Quanto à velocidade diária de irrigação, no primeiro dia a taxa foi de 0,26 ha h⁻¹, no segundo dia foi 0,37 ha h⁻¹, no terceiro dia a 0,19 ha h⁻¹ e no quarto dia a 0,50 ha h⁻¹.

De acordo com Zamberlan et al. (2014), o atraso na entrada de água na lavoura de arroz pode causar prejuízos, reduzindo a produtividade final de grãos, que de acordo com Ramírez et al. (2007), é em média cerca de 1000 kg ha⁻¹ a menos a cada 10 dias de atraso de irrigação. Além

disso, Meus et al. (2020), afirmam que a uniformidade da lâmina de irrigação também é um fator importante, sendo que esta deve ser de 2,5 a 5 cm para o melhor desenvolvimento da planta e eficiência no uso dos recursos hídricos.

Figura 2- Área irrigada em função do tempo de entrada de água no talhão (A) e mapa de variabilidade espacial do tempo de entrada de água no talhão(B).

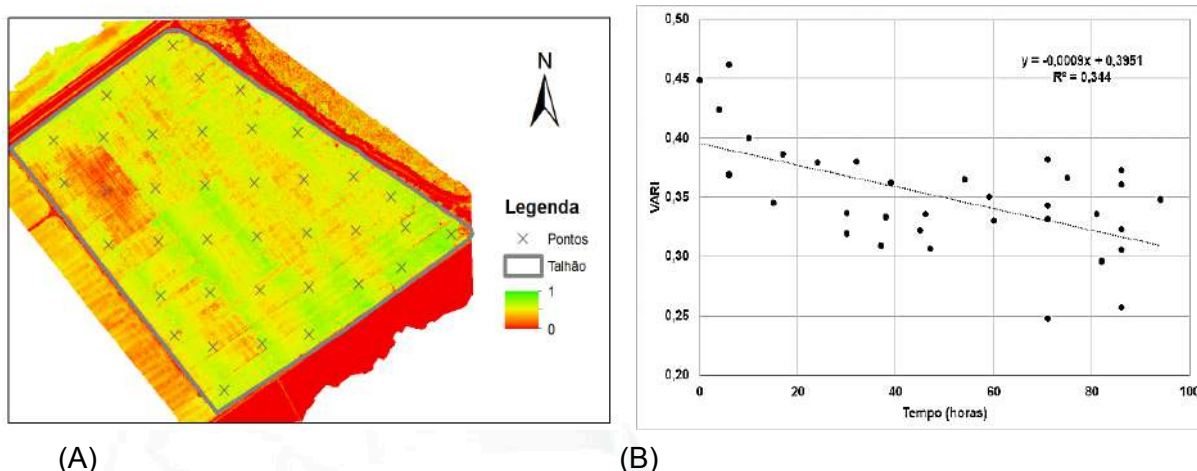


Fonte: Autores (2023)

Acima de 10 cm podem aumentar a probabilidade de acamamento, pela redução de perfilhamento e estiolamento nos estágios iniciais. A supressão, por sua vez, pode ser realizada 14 dias após o florescimento pleno, em anos em que a precipitação pluvial é insuficiente para as plantas durante esse período, ou, até mesmo, logo após o florescimento pleno em anos de precipitação regular (MARCOLIN et al., 2015).

O mapa do VARI pode ser observado na figura 3 (a), nota-se que há locais no talhão com valores mais elevados do índice, que coincidem com as regiões em que houve menor tempo para a chegada da lâmina de irrigação, conforme mapeamento da irrigação demonstrada anteriormente (Figura 2b). Na figura 3 (b) observa-se uma correlação linear negativa entre o VARI e o tempo de entrada da água de irrigação no talhão. O valor de R^2 é baixo em função da elevada dispersão de pontos, atribuído a outros fatores de manejo que também influenciam no desenvolvimento vegetal, além da condição de suprimento hídrico.

Figura 3- Mapa do índice de vegetação VARI (a) e relação entre o tempo de entrada de água no talhão e o índice de vegetação VARI (b)



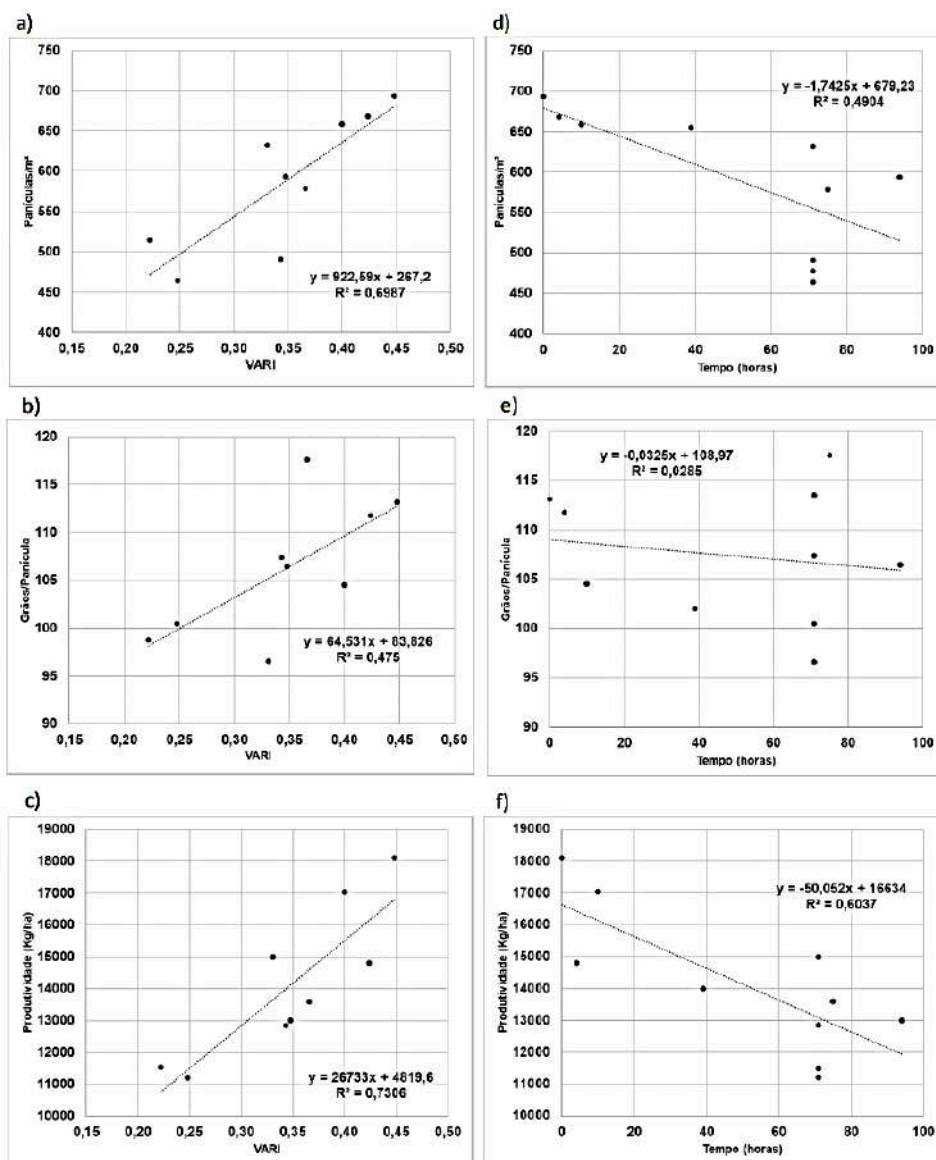
Fonte: Autores (2023)

Na figura 4, é possível observar que há uma tendência de redução linear nos componentes de produtividade e na produtividade do arroz, na medida que ocorre o atraso da entrada de água de irrigação no talhão. Os baixos valores de R^2 são atribuídos ao fato de outros fatores, que podem ser relacionados ao solo (textura e estrutura), ao estabelecimento inicial de plantas na área, entre outros, também, possuem variabilidade espacial, influenciando na reposta produtiva da cultura.

Por outro lado, há uma correlação linear positiva entre os valores dos componentes de produtividade e a produtividade do arroz com o VARI, demonstrando que este índice pode ser utilizado para representar as condições de crescimento e desenvolvimento da planta e identificar a resposta da cultura à estresses que reduzem a produtividade. Segundo Kazemi et al. (2022), é possível utilizar índices do espectro visível (RGB) no manejo do arroz nas lavouras. Isso é uma vantagem importante em razão dos altos custos que os sensores multiespectrais apresentam. Nesse contexto, o índice de vegetação VARI apresenta boa sensibilidade e baixa saturação em faixas mais elevadas (GITELSON et al. 2002), com alta capacidade de representar a fração vegetal.

Os resultados obtidos correlacionando o tempo de entrada d'água com a produtividade (Figura 4 f) vão ao encontro daqueles que constam na Circular Técnica N° 009/fevereiro/2021 do IRGA, sobre antecipação de irrigação, já que no presente estudo a irrigação iniciou entre os estádios V1-V2. Além disso, houve no talhão a presença de infestação com capim-arroz (*Echinochloa spp*), o que pode ter acentuado a redução de produtividade nas regiões em que houve maior tempo para a chegada da lâmina, conforme também demonstrado pela referida circular técnica. Além disso, os resultados obtidos indicam que é possível que a cultivar IRGA 431CL seja mais sensível ao atraso da irrigação do que cultivares estudadas em outros trabalhos, principalmente devido à sua alta exigência nutricional, com a eficiência do uso de nitrogênio, diretamente relacionada com a irrigação, sendo determinante para isso.

Figura 4 - Relações do Índice de Vegetação (VARI) com panículas m^{-2} (a), com grãos $panícula^{-1}$ (b) e com produtividade ($Kg\ ha^{-1}$) (c); relações do tempo de entrada de água em horas com panículas m^{-2} (d), com grãos $panícula^{-1}$ (e) e com produtividade ($Kg\ ha^{-1}$) (f).



Fonte: Autores (2023)

4. CONCLUSÃO

Existem correlações significativas entre o tempo de entrada de água no talhão com a produtividade e com panículas m^{-2} , porém sem correlação com grãos $panícula^{-1}$. Existem, também, correlações significativas entre o Índice de Vegetação (VARI), com panículas m^{-2} , com grãos $panícula^{-1}$ e com a produtividade ($Kg\ ha^{-1}$).

O uso de geotecnologias, com imagens de RPAS, demonstrou-se como ferramenta eficaz para o mapeamento da entrada de água e para a geração de mapas de Índice de Vegetação RGB (VARI), servindo como base para a análise do suprimento hídrico do arroz irrigado por inundação. Dessa forma, apresenta grande potencial para contribuir para a melhoria dos sistemas de irrigação

da cultura de forma a melhorar a eficiência da utilização dos recursos, bem como aumentar a produtividade.

REFERÊNCIAS

BERGMANN, C. et al. **Influência da época de irrigação na produtividade de cultivares de arroz irrigado.** Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2019/CA_01780.pdf. Acesso em 12 set. 2023.

CASSOL, V.G. et al. **Utilização integrada de tecnologias para irrigação de arroz versus sistema de irrigação convencional.** Disponível em: <https://docplayer.com.br/61974049-Utilizacao-integrada-de-tecnologias-para-irrigacao-de-arroz-versus-sistema-de-irrigacao-convencional.html>. Acesso em 12 set. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB – **Boletim da Safra de Grãos, 12º Levantamento - Safra 2022/23.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 22 set. 2023.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, n.2, p. 436-443, 2000.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS - FAO. **FAO Cereal Supply and Demand Brief.** FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>. Acesso em 10 set. 2023.

GITELSON, A. A. et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment** Lincoln, v.80, p. 76– 87, 2002

GROHS, M. et al. **Implicações morfo-fisiológicas na planta de arroz e produtividade de grãos em função da antecipação da irrigação.** Disponível em: https://www.sosbai.com.br/uploads/trabalhos/implicacoes-morfo-fisiologicas-na-planta-de-arroz-e-p-rodutividade-de-graos-em-funcao-da-antecipacao-da-irrigacao_429.pdf. Acesso em 22 set. 2023.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. **Antecipação da irrigação para o controle de plantas daninhas e aumento da produtividade em arroz.** Circular Técnica Nº 009/Fevereiro/2021. Porto Alegre: IRGA, 2021. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202101/26121157-circular-tecnica-valendo.pdf>. Acesso em 22 set. 2023.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. **Produtividades municipais - safra 2022/2023.** Porto Alegre, IRGA: 2023. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202309/08121336-produtividades-municipais-safra-2022-23.pdf>. Acesso em 22 set. 2023.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. **Série Histórica de Área e Produção de Arroz no RS.** Porto Alegre: IRGA, 2021. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202108/03112722-producao-rs-historico.pdf>. Acesso em 22 set. 2023.

KAZEMI, F. et al. **Evaluation of RGB vegetation indices derived from UAV images for rice crop growth monitoring.** ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume X-4/W1-2022, Tehran, 2022. Disponível em: <https://isprs-annals.copernicus.org/articles/X-4-W1-2022/385/2023/>. Acesso em 22 set. 2023.

MARCOLIN, E. et al. **Produtividade de Grãos de Arroz Irrigado em Função da drenagem da água a partir do florescimento pleno.** Disponível em: <https://www.sosbai.com.br/trabalho/produtividade-de-graos-de-arroz-irrigado-em-funcao-da-drenagem-da-agua-a-partir-do-florescimento-pleno>. Acesso em 22 set. 2023.

RAMÍREZ, H V. Et al. **Aumento de produtividade através do manejo da água de irrigação na cultura do arroz irrigado.** Disponível em: https://www.sosbai.com.br/uploads/trabalhos/aumento-de-produtividade-atraves-do-manejo-da-agua-a-de-irrigacao-na-cultura-do-arroz-irrigado_392.pdf. Acesso em 22 set. 2023.

SANDHOLT, I.; RASMUSEN, K.; ANDERSEN, J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, p. 213-224, 2002.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Porto Alegre: SOSBAI, 2018. 205p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: UFRGS, 2008.

VALENCIA, L. V. A. Comportamento espectral das culturas de milho, arroz e soja, usando imagens dos Satélites Sentinel-2, CBERS-4 e LANDSAT-8. **Dissertação de Mestrado.** São Paulo, 2020. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/26595>. Acesso em 22 set. 2023.

ZAMBERLAN, J.F. et al. **Manejo da irrigação por inundação contínua e seu efeito no controle de plantas invasoras em arroz irrigado.** 3º FÓRUM INTERNACIONAL ECOINNOVAR Santa Maria/RS – 3 a 4 de Setembro de 2014.

FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO APLICADA AO MELHORAMENTO GENÉTICO DE TRIGO PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

High-throughput phenotyping applied to wheat breeding for animal feed using unmanned aerial vehicle

Luiza Rathke¹; Charleston dos Santos Lima¹; Fernando Garcia Espolador²; Diego Maciel Trevisan²;
Ernandes Manfro² e Christian Bredemeier¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712, 91540-000, Porto Alegre/RS,
Brasil, luiza.rathke@gmail.com;

² Biotrigo Genética Ltda, Estrada do Trigo, 1000, Cx. Postal 3100, 99050-970, Passo Fundo/RS, Brasil,
ernandes@biotrigo.com.br

RESUMO

A cultura do trigo tornou-se uma alternativa para pastagem e silagem durante o inverno. Programas de melhoramento estão desenvolvendo cultivares para este propósito, onde a elevada produção de biomassa é uma das principais características. No entanto, a fenotipagem tradicional é subjetiva e limitada, enquanto a fenotipagem de alto rendimento fornece dados abrangentes, detalhados e de alta qualidade. O objetivo deste estudo é estabelecer uma metodologia eficaz para estimar a biomassa de trigo destinada ao pastejo e à silagem, utilizando índices de vegetação e a altura das plantas a partir de imagens de VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado). Os experimentos foram realizados com trigo para pastejo e silagem, nos quais foram utilizados VANTs equipados com sensores para a coleta dos dados. Os resultados revelaram correlações significativas entre as medições dos VANTs e as medições manuais, e modelos de regressão linear foram aplicados, com R^2 de 0,52 e 0,84 para o trigo pastejo e 0,53 para o trigo silagem. Os resultados preliminares indicaram um potencial promissor para estimar a biomassa da parte aérea das plantas de trigo.

Palavras-chave: Fenotipagem. VANT. Trigo.

ABSTRACT

Wheat cultivation has become an alternative for winter grazing and silage. Breeding programs are developing cultivars for this purpose, where high biomass production is one of the main characteristics. However, traditional phenotyping is subjective and limited, while high-throughput phenotyping provides comprehensive, detailed, and high-quality data. The aim of this study is to establish an effective methodology for estimating wheat biomass destined for grazing and silage, using vegetation indices and plant height from UAVs (Unmanned Aerial Vehicles). Experiments were conducted with wheat for grazing and silage, using UAVs equipped with sensors to collect data. The results revealed significant correlations between UAV measurements and manual measurements, and linear regression models were applied, with R^2 of 0.52 and 0.84 for grazing wheat and 0.53 for silage wheat. Preliminary results indicated promising potential for estimating above-ground biomass in wheat plants.

Keywords: Phenotyping. UAV. Wheat.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do trigo vem se destacando como alternativa para produção de silagem e pastagem de inverno. Para este fim, programas de melhoramento genético têm demonstrado

interesse em desenvolver cultivares que atendam a este nicho. Entre as principais características buscadas nos genótipos está a elevada produção de biomassa da parte aérea, à qual está relacionada com a altura da planta e índices de vegetação, como por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (LU et al., 2019; MEINERZ et al., 2012).

No processo de melhoramento genético, voltada à cultura do trigo, a fenotipagem desempenha um papel crucial, permitindo a identificação, avaliação e seleção de características desejáveis em genótipos promissores. A fenotipagem tradicional requer a avaliação visual e manual de características, o que pode ser influenciado por subjetividade e limitações de escala. A fenotipagem de alto rendimento, ao fornecer dados fenotípicos mais abrangentes, detalhados e de alta qualidade, capacita os melhoristas a identificar e selecionar genótipos com características desejáveis mais rapidamente. Isso acelera o processo de melhoramento de plantas, reduz os custos associados e aumenta a eficiência na obtenção de cultivares superiores. Neste contexto, a fenotipagem de alto rendimento surge como uma abordagem promissora, a qual utiliza tecnologias avançadas, como o Sensoriamento Remoto (SR), para coletar dados fenotípicos de forma precisa, eficiente e em larga escala (ZHAO et al., 2019).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estabelecer uma metodologia eficiente para obtenção de dados fenotípicos de alto rendimento por SR, a fim de estimar a biomassa da parte aérea de genótipos de trigo para pastejo e silagem. Essa estimativa foi baseada em índices de vegetação e estimativa da altura de planta utilizando sensor proximal e sensor multiespectral embarcado em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de campo foram conduzidos na área experimental da empresa Biotrigo Genética em Passo Fundo, localizado no Estado do Rio Grande do Sul (RS), na safra de 2022. Este trabalho foi dividido em duas partes, uma realizada em ensaios de trigo para pastejo e a outra parte em ensaios de trigo para silagem. Os experimentos foram compostos por diferentes genótipos de trigo (cultivares e linhagens) relevantes para cada finalidade (pastagem ou silagem). As parcelas dos ensaios foram compostas por sete linhas de semeadura, com 7 m de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,17 m.

As variáveis obtidas por SR a partir de imagens aéreas foram: oito índices de vegetação (Tabela 1) (LU et al., 2019), área de *pixels* verdes na imagem e estatura de planta. Para a coleta das imagens aéreas foram utilizados dois VANTs DJI com sensores embarcados: o *Phantom 4 Pro*, com sensores RGB (*Red*, *Green* e *Blue*) e RGNir (*Mapir*); e o *Phantom 4 Multispectral*, com sensor multiespectral (bandas R, G, B, *RedEdge* e Nir). Além das imagens, foram coletados dados da reflectância do dossel das parcelas, por meio do NDVI, com o sensor óptico ativo *GreenSeeker* (GS). Os dados do sensor GS foram utilizados para fins de validação do NDVI obtido pelas imagens aéreas. Para validação da estatura estimada, foram coletados dados manuais desta variável nas parcelas, pela medição utilizando régua graduada. Ainda, dados de massa verde e seca de cada parcela foram obtidos por meio de corte das plantas e posterior pesagem.

O experimento com trigo para pastejo foi semeado em 08/03/2022, sendo que, a cada 20 dias aproximadamente, um corte foi efetuado nas parcelas, para simular o pastejo. Foram realizados um total de oito cortes. Na véspera do 5º, 6º e 8º corte foram coletados os dados, com a realização de três voos nas seguintes datas: 28/06/22, 19/07/23 e 24/08/22. Para o experimento de trigo destinado a silagem, a semeadura foi em 11/07/22. Neste caso, foi realizado apenas um voo, em 28/10/22, no estádio de grão mole, e o corte da cultura foi executado em 03/11/22.

Tabela 1 - Índices de vegetação utilizados no presente projeto de pesquisa.

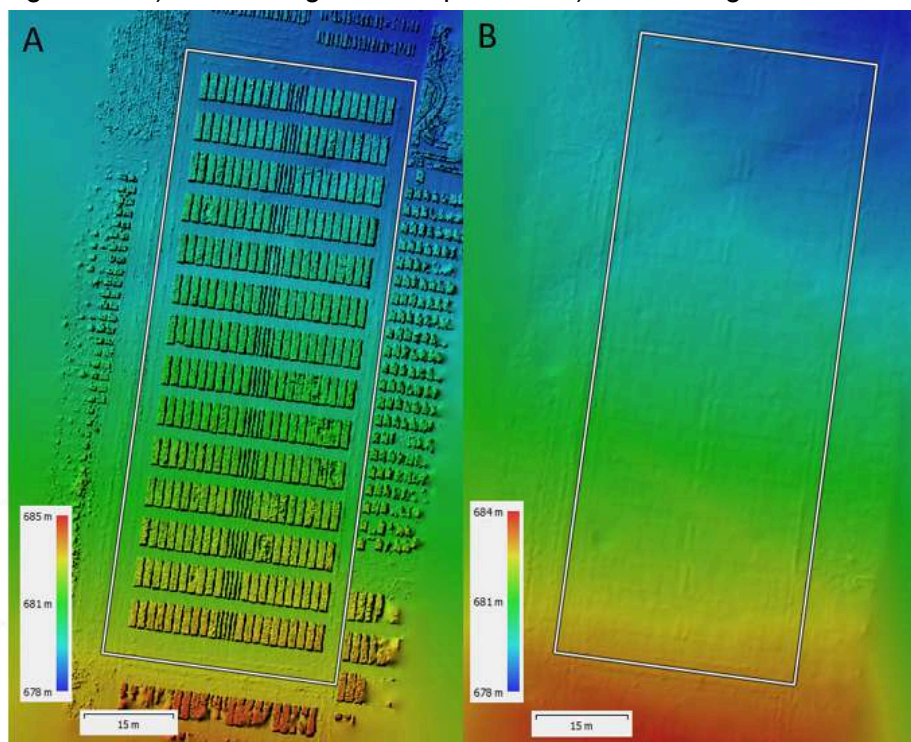
Índice	Nome	Equação
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	$\frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$
NDRE	<i>Normalized Difference Red Edge Index</i>	$\frac{(NIR - RE)}{(NIR + RE)}$
ExG	<i>Excess Green Index</i>	$2g - r - b$
GLI	<i>Green Leaf Index</i>	$\frac{2G - R - B}{2G + R + B}$
VARI	<i>Visual Atmospheric Resistance Index</i>	$\frac{g - r}{g + r - b}$
GRVI	<i>Green Red Vegetation Index</i>	$\frac{G - R}{G + R}$
MGRVI	<i>Modified Green Red Vegetation Index</i>	$\frac{G^2 - R^2}{G^2 + R^2}$
RGBVI	<i>Red Green Blue Vegetation Index</i>	$\frac{G^2 - R \times B}{G^2 + R \times B}$

Observação: R, G e B representam o número digital das faixas do vermelho, verde e azul, respectivamente. NIR representa a faixa do infravermelho próximo e RE a faixa do vermelho próximo. $r = R/(R+G+B)$, $g = G/(R+G+B)$, $b = B/(R+G+B)$ (LU et al., 2019).

A partir do processamento das imagens aéreas utilizando o software *Agisoft PhotoScan Pro*, foram obtidos o ortomosaico da área do experimento, o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Terreno (MDT) (Figura 1). No software QGIS versão 3.22.8 foi construído o *shapefile* que delimita a área analisada (três linhas centrais) de cada parcela (Figura 2 A).

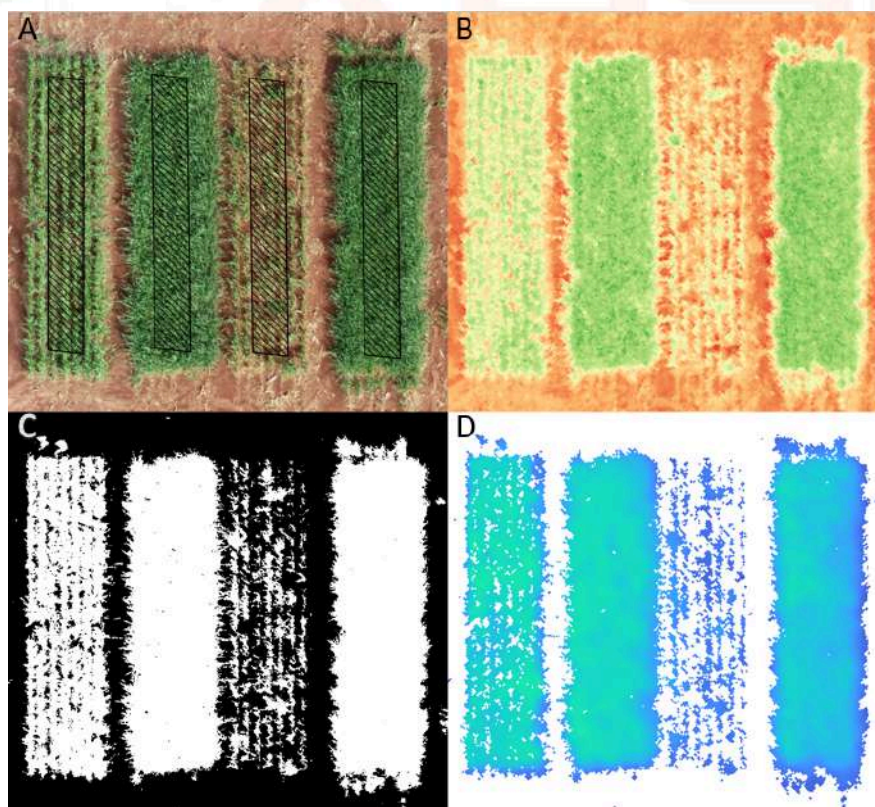
Neste mesmo software, foram extraídos os índices de vegetação (conforme mostrado na Tabela 1) para cada parcela e feita a estimativa da estatura das plantas na parcela a partir da subtração do MDS pelo MDT. Os dados dos oito índices de vegetação avaliados, área verde (porcentagem de *pixels* verdes na imagem) e da estatura foram extraídos da região delimitada pelo *shapefile* de cada parcela (Figura 2 B, C e D). As análises estatísticas e criação dos modelos preditivos foram realizados no software RStudio, utilizando os pacotes *dplyr*, *ggplot2*, *metan* e *caret*.

Figura 1 - A) Modelo Digital de Superfície; B) Modelo Digital de Terreno.



Fonte: Autores (2023)

Figura 2 - A) Recorte da imagem ortomosaico com *shapefile* (polígono hachurado); B) Índice MGRVI; C) Imagem binária obtida a partir do índice ExG; D) Estatura das plantas, desconsiderando o solo.

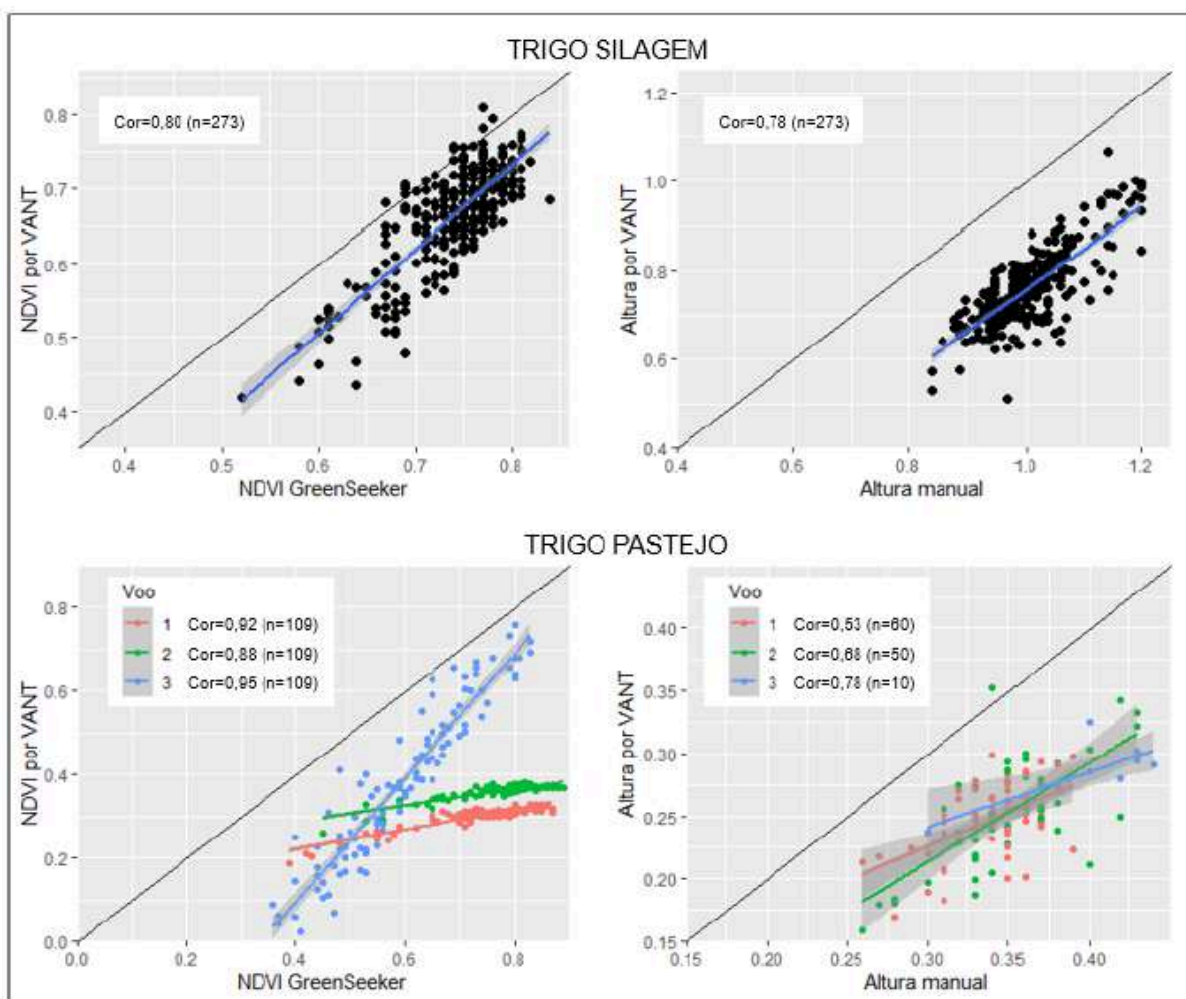


Fonte: Autores (2023)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No experimento de trigo para pastejo, a correlação entre a altura de planta estimada a partir do VANT e a altura medida manualmente para os três voos foi 0,53, 0,68 e 0,78, respectivamente. Já no experimento de trigo para silagem a correlação foi 0,78. Em relação ao NDVI, a correlação entre os valores obtidos pelo sensor proximal GS e pelo sensor embarcado em VANT, no experimento de trigo pastejo, foi de 0,92, 0,88 e 0,95, para cada um dos três voos, respectivamente. No experimento de trigo silagem, a correlação foi de 0,80 (Figura 3).

Figura 3 - Gráficos de correlação do trigo para silagem e para pastejo. À esquerda: NDVI por VANT x NDVI por GS. À direita: Altura estimada por VANT x Altura manual em metros.



Fonte: Autores (2023)

O modelo preditivo utilizado foi de Regressão Linear, sendo a variável alvo a massa verde e as variáveis preditoras todas as obtidas por SR (índices de vegetação, área de *pixels* verdes e altura de planta estimada). Para trigo pastejo, utilizando os dados do primeiro voo, o modelo obteve $R^2=0,52$, enquanto que, no segundo voo, foi obtido $R^2=0,84$. O terceiro voo não teve dados suficientes para permitir o desenvolvimento de um modelo preciso e confiável. Para trigo silagem, o modelo preditivo de massa verde obteve $R^2=0,53$. As variáveis preditoras mais importantes para os modelos foram: altura de planta estimada, área verde e os índices NDVI e VARI.

As coletas dos dados multiespectrais pelo VANT, no ensaio de pastejo, foram realizadas por sensores diferentes. No voo 1 e 2, foi utilizado o sensor RGNir *Mapir* e, no voo 3, o sensor multiespectral do equipamento Phantom 4 Multiespectral. Observou-se que, apesar da alta correlação entre os valores obtidos pelo VANT e pelo GS, existe uma grande diferença entre os valores absolutos entre os diferentes voos. Isso revela uma limitação do sensor RGNir *Mapir*. No geral, tanto os dados de NDVI quanto de altura estimada obtidos pelo VANT foram subestimados.

4. CONCLUSÃO

Para o presente ano, de 2023, os estudos deste trabalho continuarão. Serão realizados ajustes da metodologia, a fim de melhorar as correlações. Em relação à altura estimada, serão utilizados pontos de controle georreferenciados para diminuir o erro dos valores estimados. Os dados multiespectrais serão obtidos exclusivamente a partir do sensor embarcado no drone DJI *Phantom 4* Multiespectral. Além disso, maior número de parcelas serão coletadas para a obtenção de dados de massa verde e seca.

Os resultados preliminares demonstram que a utilização de dados de altura estimada, combinados à área verde e índices de vegetação obtidos por VANTs, possuem potencial para estimar a biomassa da parte aérea de plantas de trigo. Esta abordagem traz escalabilidade de maneira eficiente, otimizando os processos de melhoramento genético de plantas de trigo destinados à alimentação animal.

REFERÊNCIAS

LU, Ning *et al.* Improved estimation of aboveground biomass in wheat from RGB imagery and point cloud data acquired with a low-cost UAV system. **Plant Methods**, v. 15, n. 1, p. 17, 2019.

MEINERZ, Gilmar, Produtividade de cereais de inverno de duplo propósito na depressão central do RS. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 873–882, 2012.

ZHAO, Chunjiang. Crop phenomics: current status and perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019.

AVALIAÇÃO DO NDVI EM ARROZ IRRIGADO POR DUAS PLATAFORMAS DE COLETA: AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA E SENSOR PROXIMAL

Cleiton José Ramão^{1*}, Telmo Jorge Carneiro Amado², Deise Dalazen Castagnara³, Antônio Arns⁴
¹Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), Flores da Cunha 2055, CEP 97501-650, Uruguaiiana – RS, Brasil,
cleiton-ramao@irga.rs.gov.br

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima 1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS,
Brasil, florestatel@hotmail.com

³Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), BR 472, km 585, Uruguaiiana – RS, Brasil,
deisecastagnara@unipampa.edu.br

⁴ Empresa ArnsTronic, VANTs e Análise de Dados, Domingos José de Almeida 1720, CEP 97650-000,
Uruguaiiana – RS, Brasil, antonio.arns@arnstronic.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de sensoriamento remoto visando a prescrição da fertilização nitrogenada em cobertura no estágio R1 em arroz irrigado e a eficiência do uso do NDVI, medido por dois sensores ópticos de vegetação. O delineamento experimental empregado foi de blocos casualizados, em arranjo de faixas com subparcelas 4×2, com oito repetições. Foram alocadas as quatro doses de nitrogênio (N) (0, 69, 138 e 207 kg⁻¹ ha⁻¹), aplicadas no estágio V2/V3, um dia antes da entrada da água de irrigação. A referência de teor ideal de N na massa seca da parte aérea, no início do período reprodutivo (estágio R1) para altas produtividades de grãos, é de 2,1%. Nesse mesmo estágio da cultura, as leituras do NDVI obtido pelos sensores GreenSeeker e Mapir foram sensíveis ao incremento de N em cobertura. Onde, os incrementos dos valores de NDVI foi acompanhado pelo aumento de produtividade de grãos, porém cada plataforma possui comportamento específico para cada safra.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.. Agricultura de Precisão. NDVI.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the use of remote sensing in order to prescribe nitrogen fertilization in coverage at the R1 stage in irrigated rice and the efficiency of the use of NDVI, measured by two optical vegetation sensors. The four doses of nitrogen (N) (0, 69, 138, and 207 kg⁻¹ ha⁻¹) were allocated in strips and applied at the V2/V3 stage, one day before the irrigation water input. The reference for the ideal N content in the shoot dry mass, at the beginning of the reproductive period (stage R1) for high grain yields, is 2.1%. At this same crop stage, the NDVI readings obtained by the GreenSeeker and Mapir sensors were sensitive to the increase of N in coverage. Where the increments of NDVI values were accompanied by the increase in grain yield, but each platform has a specific behavior for each crop.

Key words: *Oryza sativa* L.. Precision agriculture. NDVI.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de nitrogênio (N) é um dos fatores que podem limitar a produtividade do arroz. Nesse sentido, buscam-se tecnologias que possam determinar um índice de suficiência para

^{1*}Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), Uruguaiiana – RS, Brasil: cleiton-ramao@irga.rs.gov.br

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria – RS, Brasil.

³ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Uruguaiiana – RS, Brasil.

⁴ Empresa ArnsTronic, VANTs e Análise de Dados, Uruguaiiana – RS, Brasil.

estimativa da adubação nitrogenada necessária para obtenção de altas produtividades. De acordo com GUAN et al. (2016), os sensores de vegetação em sensoriamento remoto são capazes de determinar o estado nutricional nitrogenado das plantas de arroz em tempo real, aumentando a eficiência da fertilização, bem como de tempo e recursos.

Os provedores de software agrícola utilizando imagens de satélite podem obter índices que se relacionam com os teores de N em plantas de arroz, como “Índice de Vegetação por Diferença Normalizada” (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index), o qual é calculado com base nos valores de reflectância da faixa do vermelho e do infravermelho próximo (ROUSE et al., 1973). No entanto, o índice de vegetação (IV) é mais difundido em culturas, tais como trigo (VIAN et al., 2018), milho (AMADO et al., 2017) e cana-de-açúcar (ROSA et al., 2015). A utilização do NDVI economiza tempo e recursos, permitindo corrigir precocemente possíveis deficiências nutricionais em estádios iniciais da cultura e ajuste de adubações complementares ao longo do ciclo.

As recomendações de fertilização nitrogenada em cobertura podem ser acompanhadas através de sensores montados no trator em operação (RAUN et al., 2005), em sensoriamento remoto (SCHWALBERT et al., 2019), ou em instrumentos portáteis de diagnóstico (ROGOVSKA et al., 2019). Para prescrição da adubação nitrogenada baseada nesses sensores, são criadas faixas na lavoura, fertilizadas com elevada dose de N, gerando uma área referência sem deficiência de N. O sensoriamento é realizado na área de referência e nas demais áreas de interesse na lavoura, onde o índice médio obtido na lavoura a ser adubada é dividido pelo índice médio da área referência, de modo que um resultado menor que 0,95 indica a necessidade de fertilização. Em diversas culturas, tais como feijão, milho e arroz, o uso desta técnica tem aumentado a eficiência do uso de N (SILVA et al., 2011; POCOJESKI et al., 2012; YAN et al., 2014; YUAN et al., 2016; MAIA et al., 2017).

As recomendações de adubação nitrogenada em arroz irrigado para o Sul do Brasil, são baseadas no teor de matéria orgânica e expectativa de resposta da cultura, chegando a 150 kg ha⁻¹ de N (SOSBAI, 2018). Quanto ao parcelamento do N durante o ciclo da cultura, não obteve-se resultado em produtividade, quando comparado a uma única aplicação em pré-irrigação (ANGHINONI et al., 2019).

As câmeras com alta resolução espectral têm um custo elevado, o que limita seu uso em larga escala. No entanto, câmeras digitais convencionais (RGB) podem ser usadas para determinar o conteúdo de clorofila e monitorar o teor de N da planta de arroz em crescimento, auxiliando os produtores a identificarem problemas na lavoura e obterem melhores resultados, de forma rápida e precisa (SABERIOON et al., 2014). As câmeras podem ser acopladas em Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), permitindo sobrevoar áreas específicas e monitorar o desenvolvimento fenológico das culturas em condição de campo, para estimar as variações sazonais durante a safra.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de sensoriamento remoto visando a prescrição da fertilização nitrogenada em cobertura no estágio R1 em arroz irrigado e a eficiência do uso do NDVI, medido por dois sensores ópticos de vegetação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido durante duas safras agrícolas (2018/19 e 2019/20), em duas áreas comerciais de arroz localizadas nos municípios de Uruguaiana e Barra do Quaraí – RS, selecionadas por possuírem características de solo (Tabela 1), relevo e clima que representam a região orizícola da Fronteira Oeste, do estado do RS. De um modo geral, as áreas experimentais possuem o relevo suave, com predominância de solos franco argiloso, mal drenados e pouco

profundos. De acordo com a EMBRAPA (2013), os solos das áreas experimentais classificam-se como Chernossolo Ebânico, com horizonte B textural, apresentando alta pegajosidade e plasticidade. O clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical, sem estação seca definida, conforme a classificação climática de Köppen (WREGE et al., 2012).

Tabela 1 - Atributos químicos do solo antes da instalação dos experimentos, nos municípios de Uruguiana (2018/19) e Barra do Quaraí –RS, (2019/20).

Safra	Cultivar	Argila	MO	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CTC	P	K	Sat. Bases	Sat. Al ⁺³
		---- (%) ----		(H ₂ O)			----- (mg dm ⁻³)-----			---- (%) ----	
2018/19	IRGA 424 RI	25	0,9	5,2	6,6	1,4	14,4	2,4	43,3	56,9	2,5
2019/20	IRGA 424 RI	17	0,9	4,8	3,4	0,9	9,2	9,6	50,7	49,3	12,5

MO – matéria orgânica; Al – alumínio; P – fósforo; K - potássio; Mg – magnésio; CTC – capacidade de troca de cátions; Sat. Bases – saturação por bases; Sat. Al⁺³ – saturação por alumínio.

O delineamento experimental empregado foi de blocos casualizados, sendo um bifatorial 4×2, disposto em arranjo de faixas, com oito repetições. Nas faixas foram alocadas as quatro doses de N (0, 69, 138 e 207 kg ha⁻¹), e única aplicação no estágio V2/V3, conforme escala de COUNCE et al. (2000), um dia antes da entrada da água de irrigação. As faixas foram sensoriadas por sensor proximal e sensor embarcado em ARP.

Como adubação de base, adotou-se a recomendação de acordo com a análise de solo para atingir expectativa de produtividade “Muito Alta” sendo o fósforo (P) aplicado na linha de semeadura e o potássio (K) distribuído a lanço, concomitantemente à semeadura do arroz. Na adubação de base utilizou-se 70 kg ha⁻¹ de P, na forma de fosfato monoamônico, e 110 kg ha⁻¹ de K, na forma de cloreto de potássio. A fertilização potássica de cobertura foi aplicada com distribuidor a lanço tratorizado.

Dois dias antes de realizar a aplicação da lâmina de água no talhão, com o arroz estando no estágio V₂/V₃, uma aeronave remotamente pilotada da marca ArnsTronic modelo LumiX2®, equipada com câmera modelo MAPIR 3, realizou o sensoriamento da área. O planejamento da missão de voo e das configurações de sobreposição de imagens, distância focal e GSD da câmera foram realizados com app LumiXMapper®. A calibração radiométrica das imagens foi realizada pelo software Mapir MCC (Mapir Camera Control). Os ortomosaicos de imagens foram gerados pelo Agisoft Metashape, com extração de dados e geração de mapas pelo software Q-GIS.

Com isto, utilizou-se o índice NDVI, que faz avaliações nos comprimentos de onda do Infravermelho e do Vermelho Próximo, para identificar falhas na emergência ou zonas com menor densidade de plantas do que a preconizada (equação 1):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Onde, NIR: radiação refletida no Infravermelho Próximo e; RED: radiação refletida no vermelho.

A aplicação das doses de fertilizante nitrogenado um dia antes da entrada da água na área experimental foi realizada com um conjunto trator-distribuidor equipado com piloto automático e GPS, o qual tracionou um distribuidor a lanço Hércules 10000®.

O sensoriamento com VANT ocorreu no estágio R1 (diferenciação da panícula) e, simultaneamente, foram coletados oito pontos amostrais por transecto predefinido, com sensor ótico ativo (GreenSeeker) de forma manual, o qual fornece o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O sensor foi posicionado a uma altura de 0,8 – 1,0 m acima do dossel, realizando amostras na unidade experimental com 20 m de comprimento.

Após o sensoriamento, procedeu-se à amostragem da biomassa da parte aérea das plantas de arroz no estágio R1 em cada unidade experimental, para estimativa da produtividade de massa seca da parte aérea. Cada amostragem compreendeu uma área útil da parcela de 0,25 m² (três linhas de semeadura x 0,5 m de comprimento).

No estágio R1 foi determinado o teor de N no tecido foliar. Para tal, as amostras secas foram moídas em moinho de facas e câmara de inox e submetidas à digestão sulfúrica por meio do método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). A quantidade de N acumulada na parte aérea foi obtida a partir da multiplicação da biomassa da parte aérea e o teor de N no tecido da planta.

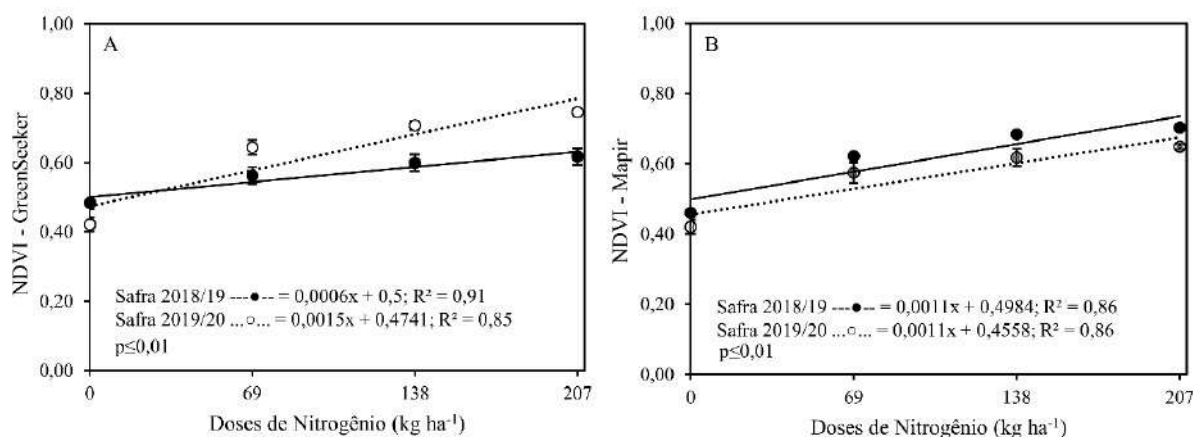
A coleta das amostras para estimar a produtividade de grãos e os componentes de rendimento foi realizada quando as plantas atingiram o estágio R9, ou seja, a massa de grãos estava com umidade entre 24 e 20% (SOSBAI, 2018). Foram colhidas as plantas de forma manual, em oito repetições (subparcela) de cada tratamento, onde cada área amostral teve 4 m de comprimento por sete linhas de arroz com largura de 0,17 m, totalizando 4,76 m².

Os dados foram analisados com o auxílio do software IBM SPSS, sendo inicialmente submetidos à análise de variância (ANOVA) para determinar os possíveis efeitos de tratamentos e interações. Quando verificado significância estatística pelo teste F ($p < 0,05$), para o fator qualitativo (sensores), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os efeitos das doses de N (fator quantitativo) aplicadas um dia antes da entrada da água de irrigação foram analisados por meio de análise de regressão, testando-se os modelos linear e quadrático. Na análise de correlação entre as variáveis, aplicou-se a correlação linear de Pearson ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os itens monitorados em estágio R1 da cultura, as leituras do NDVI obtidas pelo sensor GreenSeeker foram sensíveis ao incremento da dose de N aplicada em V2/V3 (Figura 1A).

Figura 1 - Resposta do NDVI sob duas plataformas de coleta, em função de doses de N aplicados em cobertura, nas safras 2018/19 (A - Uruguaiana) e 2019/20 (B - Barra do Quaraí).



O acréscimo deste índice foi de 29% para dose de 207 kg ha⁻¹ de N, em comparação ao tratamento sem N na safra 2018/19. Para a safra 2019/20, o índice indicou um acréscimo de 78%, em relação à testemunha, demonstrando um incremento de 0,01 ponto de NDVI para cada 14,8 e 6,27 kg N⁻¹ aplicado nas duas safras, respectivamente.

Quanto maiores os valores do NDVI, maiores são as diferenças entre a reflectância do infravermelho próximo e do vermelho, o que indica maior quantidade de clorofila e produção de massa seca e, conseqüentemente, maior a produtividade (RISSINI et al., 2015).

Para a câmera Mapir (Figura 1B), acoplada a uma ARP, o NDVI obteve incremento de 52% sobre a testemunha na safra 2018/19, já para safra 2019/20 o NDVI coletado foi de 55% sobre a testemunha, demonstrando um incremento de 0,01 ponto de NDVI para cada 8,6 e 9 kg N⁻¹ aplicado em ambas as safras, respectivamente. O sensoriamento remoto de baixa altitude com base em ARP também pode ser uma forma alternativa para diagnosticar o status de N do arroz na estação e orientar o manejo de N de taxa variável (ZHANG & KOVACS, 2012).

Tabela 2 - Produtividade de grãos, índice de suficiência de nitrogênio (N), NDVI e quantidade de N absorvido pelas plantas de arroz nas safras 2018/19 (Uruguaiana) e 2019/20 (Barra do Quaraí).

Avaliações	Safra 2018/19	Safra 2019/20
Prod. Máxima (kg ha ⁻¹)	11.048	10.845
IS95 (NDVI GreenSeeker em R1)	0,59	0,71
IS95 (NDVI Mapir em R1)	0,66	0,62
Prod. Kg ha ⁻¹ (IS)	10.494	10.302
N.ab. kg ha ⁻¹ (IS)	143	125
Teor de N. crítico ab. (%) (IS)	2,15	2,09

Prod – produtividade; N. ab – nitrogênio absorvido; IS – índice de suficiência.

O valor de NDVI, no estágio R1, variou para ambas as safras avaliadas, apresentando comportamento distinto entre os sensores e safras. Os teores de N ficaram em 2,15 e 2,09% para a safra 2018/19 e 2019/20, valores semelhantes foram encontrados em estudo realizado no Rio Yangtze na China com cultivares índicas (ATA-UL-KARIM et al., 2017). A diferença entre a quantidade de N absorvido foi de 18 kg ha⁻¹ de N entre safras, valor semelhante para ambas atingir seu teto produtivo.

Dessa forma, a utilização do NDVI em estágio R1 pode ser uma ferramenta na tomada de decisão nas aplicações de N em cobertura no referido estágio e uma forma de monitoramento do estado nutricional do N durante o ciclo da cultura (XUE et al., 2014). As relações apresentadas, sugerem que seria possível prever o “yield gap” com antecedência, possibilitando a adoção de medidas corretivas, visando atingir altas produtividades, desde que observadas as características de cada sensor. Para HUANG et al. (2018), a aplicação em cobertura de N, no estágio inicial reprodutivo, deve ser de 30% do volume total previsto.

4. CONCLUSÃO

A referência de teor ideal de N na massa seca da parte aérea, no início do período reprodutivo (estágio R1) para altas produtividades de grãos, é de 2,1%.

Em estágio R1 da cultura, as leituras do NDVI obtido pelos sensores GreenSeeker e Mapir foram sensíveis ao incremento de N, possibilitando a adoção de medidas corretivas, visando atingir altas produtividades de grãos.

Os incrementos dos valores de NDVI foi acompanhado pelo aumento de produtividade de grãos, porém cada sensor possui comportamento específico para cada safra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e ao Grupo Arns pela infraestrutura e suporte disponibilizados no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C. et al. Yield and nutritional efficiency of corn in response to rates and splits of nitrogen fertilization. **Revista Ceres**, v. 64, n. 4, p.351-359, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0034-737X201764040003>>. Acessado em: Jan. 20, 2021. doi: 10.1590/0034-737X201764040003.

ANGHINONI, I.; Carlos, F.S. **Manejo da adubação nitrogenada de cobertura no arroz irrigado no Sul do Brasil**. Cachoeirinha: IRGA, 2019. 6p. (Circular Técnica 001).

ATA-UL-KARIM, S. T. et al. Comparison of different critical nitrogen dilution curves for nitrogen diagnosis in rice. **Scientific Reports**, v. 7, n. 42679, p.1-14, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep42679>. Acessado em: Fev. 16, 2021. doi: 10.1038/srep42679.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objectives, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2000.402436x>>. Acessado em: Fev. 16, 2021. doi: 10.2135/cropsci2000.402436x.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

GUAN, X. D. et al. Mapping rice cropping systems in Vietnam using an NDVI-based time-series similarity measurement based on DTW distance. **Remote Sensing**, v.1, n. 19, p.1-25, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/rs8010019> >. Acessado em: Fev. 16, 2021. doi: 10.3390/rs8010019.

HUANG, Y. et al. BESS-Rice: A remote sensing derived and biophysical process-based rice productivity simulation model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256-257, n. 15, p.253-269, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.014>>. Acessado em: Fev. 16, 2021. doi: 10.1016/j.agrformet.2018.03.014.

MAIA, S. C. M. et al. Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 7, p.512-520, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000700005>. Acessado em: Dez. 16, 2020. doi: 10.1590/s0100-204x2017000700005.

POCOJESKI, E. et al. Estimativa do teor de nitrogênio em arroz irrigado com o clorofilômetro e a cartela de cores. **Ciencia Rural**, v. 42, n. 11, p.1982-1988, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000087>>. Acessado em: Dez. 05, 2020. doi: 10.1590/S0103-84782012005000087.

RAUN, W. R. et al. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, p.2759-2781 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00103620500303988>>. Acessado em: Dez. 05, 2020. doi: 10.1080/00103620500303988.

RISSINI, A. L. L. et al. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 6, p.1703-1713, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140686>>. Acessado em: Dez. 04, 2020. doi: 10.1590/01000683rbc20140686.

ROGOVSKA, N. et al. Development of field mobile soil nitrate sensor technology to facilitate precision fertilizer management. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 1, p.40–55, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11119-018-9579-0>>. Acessado em: Dez. 04, 2020. doi: 10.1007/s11119-018-9579-0.

ROSA, H. J. A. et al. Sugarcane response to nitrogen rates, measured by a canopy reflectance sensor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 09, p.840-848, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000900013>>. Acessado em: Dez. 04, 2020. doi: 10.1590/S0100-204X2015000900013.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **THIRD ERTS SYMPOSIUM - NASA**, 1973, p.309-317. Online. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf>>. Acessado em: Dez. 04, 2020.

SABERIOON, M. M. et al. Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 32, n. 1, p.35-45, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.03.018>>. Acessado em: Nov. 25, 2020. doi: 10.1016/j.jag.2014.03.018.

SILVA, M. A. G. da. et al. Monitoring and evaluation of need for nitrogen fertilizer topdressing for maize leaf chlorophyll readings and the relationship with grain yield. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 4, p.665-674, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000400004>>. Acessado em: Nov. 25, 2020. doi: 10.1590/S1516-89132011000400004.

SCHWALBERT, R. A. et al. Fine-tuning of wheat (*Triticum aestivum*, L.) variable nitrogen rate by combining crop sensing and management zones approaches in southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 1, p. 56-77, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11119-018-9581-6>>. Acessado em: Jan. 04, 2021. doi: 10.1007/s11119-018-9581-6.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira De Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Farroupilha: SOSBAI, 2018. 205 p.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

USDA - United States Department of Agriculture. Production-Crops-Rice, Washington, ago. 2022. Online. Disponível em <<https://www.ers.usda.gov/topics/crops/rice/>>. Acessado em: Ago. 05, 2022.

VIAN, A.L. et al. Uso de imagens digitais e sensor de vegetação para estimativa do potencial produtivo e estado nutricional em milho, São Pedro, SP, 2014. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO-ConBAP 2014**, 2014, p.1-14.

WREGE, M. S. et al. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil - Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Brasília: EMBRAPA, 2012. 333p.

XUE, L. et al. Topdressing nitrogen recommendation for early rice with an active sensor in south China. **Precision Agriculture**, v. 15, p.95-110, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11119-013-9326-5>>. Acessado em: Jan. 06, 2021. doi: 10.1007/s11119-013-9326-5.

YAN, Y. et al. MiR444a has multiple functions in the rice nitrate-signaling pathway. **The Plant Journal**, v. 78, n. 1, p. 44-55, 2014. Disponível em:<<https://doi.org/10.1111/tpj.12446>>. Acesado em: Jan. 06, 2021. doi: 10.1111/tpj.12446.

YUAN, Z. et al. Indicators for diagnosing nitrogen status of rice based on chlorophyllmeter readings. **Field Crops Research**, v. 185, p.12-20, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.003>>. Acessado em: Jun. 02, 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2015.10.003.

ZHANG, C.; KOVACS, J.M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. **Precision Agriculture**, v.12, p.693-712, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>. Acessado em: Nov. 20, 2022. doi: 10.1007/s11119-012-9274-5.

MODELO PARA PREDIÇÃO DO TEOR DE NITROGÊNIO NO MILHO POR MEIO DE ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Model for predicting nitrogen content in corn using near infrared spectroscopy

Diego Lima Luchessi¹; Gabriela Naibo¹; Tales Tiecher¹; Caroline Andrade Tomaszewski²; Ana Laura Bemvenuti Jacques²; Alexandre Alan Cassinelli¹; Anna Elisa Petersen Gatelli²; André Luis Vian¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 91540-000, Porto Alegre – RS, Brasil, e-mail: diegolimalucc@gmail.com; andre.vian@ufrgs.br; tales.tiecher@gmail.com

² Laboratório Federal de Defesa Agropecuária/RS - LFDA/RS, Estrada Retiro da Ponta Grossa, 91.780-580, Porto Alegre - RS, e-mail: caroline.tomaszewski@agriculta.gov.br ana.jacques@agro.gov.br

RESUMO

A espectroscopia de infravermelho próximo oferece uma alternativa mais rápida e econômica para estimar os teores de nitrogênio em tecido foliar de milho em comparação com métodos químicos tradicionais. Este estudo usou diferentes técnicas de pré-processamento e calibração multivariada com 326 amostras de milho para desenvolver um modelo de predição. Os pré-processamentos incluíram Detrend (DET), Standard Normal Variate (SNV) e Savitzky-Golay (SGD), enquanto os métodos de calibração foram Partial Least Squares Regression (PLSR) e Support Vector Machine (SVM). A validação cruzada foi aplicada na calibração do modelo, e a precisão da espectroscopia foi avaliada usando coeficiente de determinação (R^2), relação entre desempenho e distância interquartil (RPIQ) e erro médio quadrático de predição (RMSE). A espectroscopia NIR demonstrou alta precisão, sendo SVM com pré-processamento SGD os modelos de calibração mais eficazes.

Palavras-chave: Espectroscopia de infravermelho próximo. Predição de nitrogênio. Pré-processamento espectral.

ABSTRACT

Near-infrared spectroscopy offers a faster and more cost-effective alternative for estimating nitrogen levels in maize leaf tissue compared to traditional chemical methods. This study employed various preprocessing techniques and multivariate calibration methods using 326 maize samples to develop a prediction model. Preprocessing techniques included Detrend (DET), Standard Normal Variate (SNV), and Savitzky-Golay (SGD), while calibration methods comprised Partial Least Squares Regression (PLSR) and Support Vector Machine (SVM). Cross-validation was applied during model calibration, and the spectroscopy accuracy was assessed using coefficient of determination (R^2), performance-to-interquartile distance ratio (RPIQ), and root mean square error of prediction (RMSE). NIR spectroscopy demonstrated high accuracy, with SVM using SGD preprocessing being the most effective calibration models.

Keywords: Near-infrared spectroscopy. Nitrogen prediction. Spectral preprocessing.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação do aporte tecnológico nas atividades agrícolas observada nos últimos anos tem priorizado o suprimento nutricional dos cultivos dentre os manejos praticados, promovendo maior precisão nas adubações. Para isso, a amostragem de solo e tecidos vegetais se faz necessária a fim de estimar os teores de macronutrientes e micronutrientes presentes. A análise foliar, especialmente quando direcionada à quantificação do nitrogênio, desempenha um papel fundamental na otimização do crescimento e desenvolvimento das plantas. A disponibilidade adequada de nitrogênio é crucial para a síntese de proteínas, que por sua vez está intimamente ligada ao metabolismo, ao crescimento das plantas e à produção de biomassa (MARSCHNER,

2012). Além disso, o nitrogênio desempenha um papel crucial na formação de ácidos nucleicos, constituintes do DNA e RNA (TAIZ; ZEIGER, 2017). Através da análise foliar de nitrogênio, é possível monitorar e ajustar as práticas de adubação e manejo, garantindo um suprimento adequado desse nutriente vital e, assim, promover um crescimento saudável e uma produção agrícola eficiente (MARSCHNER, 2012; MACEDO et al., 2020).

O método químico convencional para análise foliar, particularmente o método Kjeldahl utilizado para quantificar o nitrogênio, apresenta algumas desvantagens significativas. Embora seja amplamente empregado, o método é conhecido por ser demorado, requerer várias etapas de preparação de amostras e envolver o manuseio de reagentes químicos corrosivos e tóxicos. Essas limitações podem comprometer a eficiência e a segurança das análises laboratoriais (PRANANTO; MINASNY; WEAVER, 2020; MALAVOLTA et al., 1997). Por isso, metodologias alternativas para estimar teores de nutrientes se fazem necessárias e uma delas é a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR). A NIRS usa radiação eletromagnética para avaliar moléculas orgânicas, convertendo resultados em teores de nutrientes e permite estimativas rápidas, precisas e mais sustentáveis (VAN MAARSCHALKERWEERD & HUSTED, 2015). Desde os anos 90 essa técnica é usada na agricultura para avaliar propriedades físico-químicas do solo e outros atributos agronômicos (DEMATTE et al., 2018). A espectroscopia NIR tem se mostrado eficaz em análises laboratoriais, com potencial para substituir métodos tradicionais em diversos setores (PASQUINI, 2003).

A espectroscopia NIR analisa moléculas orgânicas através da reflectância de radiação eletromagnética, vibrando as ligações químicas dos átomos quando irradiados. Esses dados são convertidos matematicamente em teores de nutrientes (FERREIRA, 2017). Para garantir precisão, é necessário pré-processar os espectros brutos para reduzir ruídos antes da análise multivariada. Isso requer a construção de modelos de calibração, associando dados espectroscópicos com métodos de referência. Ajustes no modelo são realizados por métodos matemáticos e quimiométricos.

Apesar do aumento recente nas pesquisas de espectroscopia NIR em tecidos vegetais, elas ainda são escassas em comparação com as relacionadas ao solo (PRANANTO; MINASNY; WEAVER, 2020). A complexidade das funções nutricionais e compostos químicos vegetais torna a estimativa dos teores nutricionais foliares por reflectância um desafio devido à autocorrelação e colinearidade (RODRIGUES et al., 2020). O uso de tecnologias como essa permite a otimização de recursos, em laboratório e a campo, e a agilidade dos resultados, contribuindo com a tomada de decisão e com as demais práticas da agricultura de precisão. O objetivo deste resumo é apresentar um modelo que possibilite a predição do teor do nitrogênio para a cultura do milho (*Zea mays*), uma das principais culturas originadas na América do Sul, por meio da espectroscopia por NIR.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de tecidos vegetais de milho foram coletadas em experimentos conduzidos no município de Eldorado do Sul/RS, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), durante os anos de 2015 a 2019. Foram coletadas no total 326 amostras de tecidos vegetais, visando obter um modelo de predição com alta acurácia e precisão. O local em que os experimentos foram conduzidos pode ser caracterizado com Argissolo Vermelho Distrófico típico (STRECK et al., 2018). O clima é classificado como subtropical, com inverno seco e verão úmido (Cfa), conforme classificação climática de Koppen (BERGAMASCHI et al., 2003).

Os manejos realizados nos tratamentos tiveram por objetivo gerar variabilidade nas concentrações de N nos tecidos vegetais através de doses de adubação nitrogenada, sendo: 0, 25,

50, 75, 100, 120, 150 e 200 kg N ha⁻¹. As coletas do tecido foliar foram feitas antes do estágio de desenvolvimento vegetativo da cultura (V8). As amostras vegetais foram secadas em estufa com circulação de ar forçado, a uma temperatura de 65 - 70 °C, e moídas a uma fração de até 2,5mm. As análises químicas (metodologia tradicional) para quantificação do teor de N nas amostras foram feitas no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), através da solubilização sulfúrica seguida do método semi-micro Kjeldahl. Já as análises espectroscópicas foram feitas no Laboratório Federal de Defesa Agropecuária/RS (LFDA/RS) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), no município de Porto Alegre/RS.

O equipamento utilizado foi o espectrômetro modelo (FT - NIR), Bruker MPA (Waltham, Massachusetts, EUA), de modo a determinar a assinatura espectral das amostras de tecidos vegetais a uma faixa de 780 a 2500nm do espectro eletromagnético. O espectrômetro foi calibrado no modo de reflectância difusa com uma resolução de 2cm⁻¹ e 60 leituras por espectro. Após a leitura espectral das amostras dos tecidos vegetais do milho, os dados foram submetidos aos pré-processamentos Detrend, Standard Normal Variate (SNV) e Savitzky-Golay Derivative (SGD), possibilitando uma melhor predição da concentração de nitrogênio nas amostras. Por fim, foram desenvolvidos os modelos de predição através dos métodos de calibração multivariada Partial Least Squares Regression (PLSR) e Support Vector Machine (SVM). A calibração dos modelos foi feita através da validação cruzada por meio de uma divisão aleatória em segmentos. Por fim, para verificar a acurácia da espectroscopia NIR para determinação de N em tecido vegetal, os valores encontrados nos métodos de predição foram comparados aos valores de referência encontrados nas análises laboratoriais através dos seguintes parâmetros de acurácia: coeficiente de determinação (R²), relação entre o desempenho e a distância interquartil (RPIQ) e o erro médio quadrático de predição (RMSE).

Conforme Veum et al. (2015), valores de coeficiente de determinação (R²) superiores a 0,75 podem ser classificados como “satisfatórios”, valores entre 0,50 a 0,75 “moderadamente satisfatórios” e inferiores a 0,50 “insatisfatórios”. Valores para a relação entre o desempenho e a distância interquartil (RPIQ) superiores a 3 são considerados como “satisfatórios”, entre 1,50 a 1,90 como “moderadamente satisfatórios” e inferiores a 1,50 como “insatisfatórios”. O erro médio quadrático de predição (RMSE) mensura a acurácia da estimativa, sendo que valores mais próximos a zero indicam maior exatidão (PRANANTO; MINASNY; WEAVER; 2020). Todas as análises estatísticas foram realizadas através do software R (R CORE TEAM, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

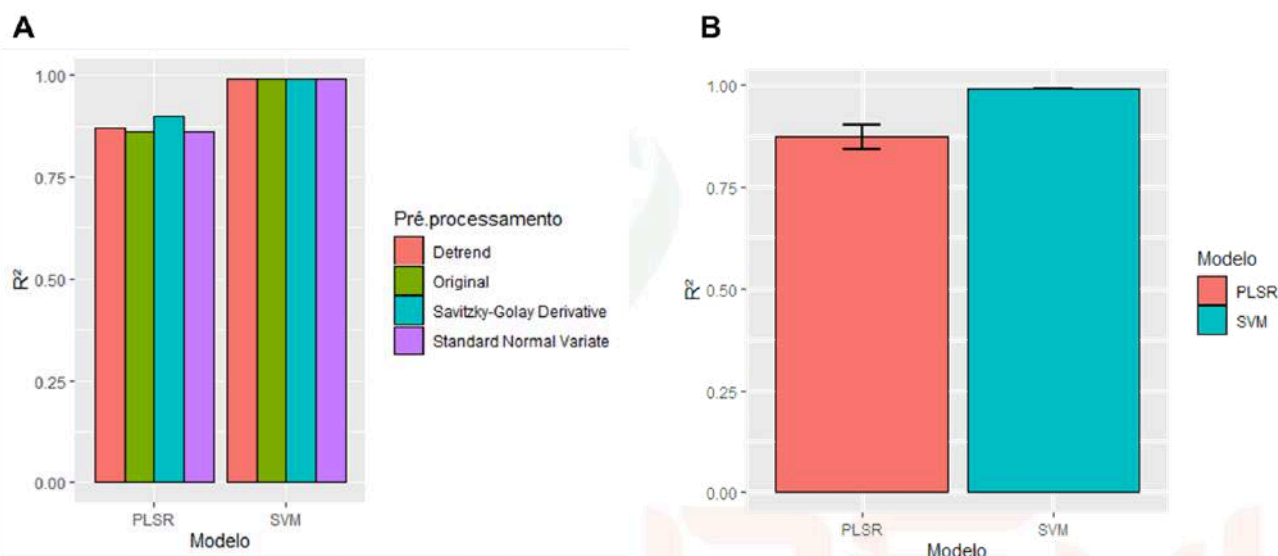
Na análise da estatística descritiva, pode-se observar que os teores de N no tecido foram encontrados com valores máximo de 4,53% e mínimo de 0,36%, resultando em uma amplitude de 4,17, o que indica uma alta variabilidade entre as amostras utilizadas no banco de dados (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatística descritiva do conjunto de amostras de tecido utilizado no estudo.

Estatística descritiva	N
Mínimo	0.36
Máximo	4.53
Média	1.84
Mediana	1.75
Desvio Padrão	0,83
1st Qu	1.16
3rd Qd	2.43

O desempenho das previsões dos teores de N nos tecidos de milho, juntamente com os valores do coeficiente de determinação (R^2) obtidos pela análise estatística, pode ser observado na Tabela 2. Os resultados mais promissores foram alcançados pelo método de calibração multivariada Support Vector Machine (SVM), que obteve consistentemente valores de R^2 de 0,99 para todas as análises de pré-processamento (Figura 1A).

Figura 1 - Comparativo dos valores do coeficiente de determinação (R^2) (A) e Comparativo da média do coeficiente de determinação (R^2) (B) dos pré-processamentos utilizados entre os métodos de calibração multivariada *Partial Least Squares Regression* (PLSR) e *Support Vector Machine* (SVM).



Por outro lado, o método Partial Least Squares Regression (PLSR) demonstrou valores de coeficiente de determinação (R^2) mais baixos, com $R^2 = 0,86$ para o pré-processamento Original, $R^2 = 0,87$ para Detrend, $R^2 = 0,86$ para Standard Normal Variate (SNV) e $R^2 = 0,90$ para Savitzky-Golay Derivative (SGD). Nota-se uma maior precisão na estimativa das concentrações de nutrientes em tecido vegetal utilizando espectroscopia NIR com o modelo Support Vector Machine (SVM), em comparação com o método de calibração Partial Least Squares Regression (PLSR) (Figura 1B).

Os maiores erros médios quadráticos de previsão (RMSE) foram encontrados nos modelos que utilizaram o método Partial Least Squares Regression (PLSR), variando de 0,26 a 0,31. Notavelmente, o pré-processamento que mais reduziu o RMSE nesses modelos foi o Savitzky-Golay Derivative (SGD). Em contraste, o método de calibração multivariada Support Vector Machine (SVM) não mostrou diferença significativa nos valores de erro médio quadrático de previsão (RMSE) entre os diferentes pré-processamentos avaliados (Tabela 2). Apesar disso, esse método se destacou pela sua adequação na estimativa das concentrações de nutrientes em tecido vegetal utilizando espectroscopia NIR, pois apresentou valores de RMSE próximos a zero, indicando uma maior precisão do método.

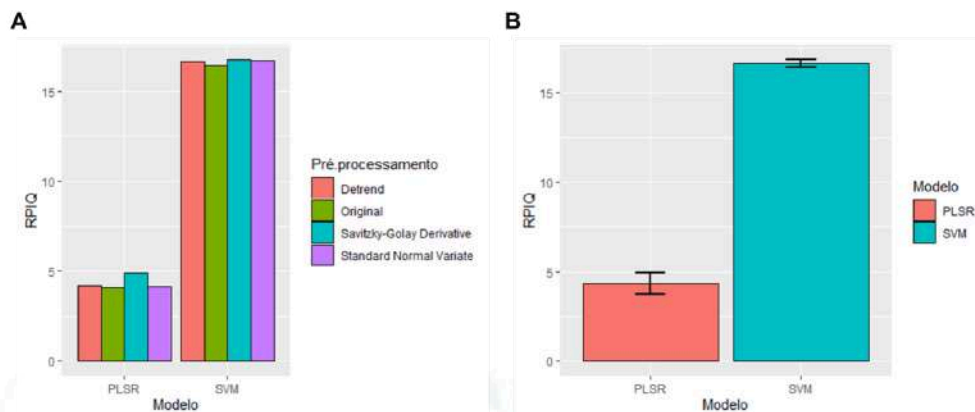
Tabela 2 - Desempenho das predições de nitrogênio (N) em tecido foliar de milho através da espectroscopia NIR com o uso de diferentes métodos de calibração multivariada e pré-processamentos.

Número Amostras	Cultura	Modelo	Pré-Processamento	Material	R ²	RMSE	RPIQ
326	Milho	PLSR	Original	Tecido	0,86	0,31	4,1
326	Milho	PLSR	Detrend	Tecido	0,87	0,3	4,2
326	Milho	PLSR	Standard Normal Variate	Tecido	0,86	0,31	4,1
326	Milho	PLSR	Savitzky-Golay Derivative	Tecido	0,9	0,26	4,9
326	Milho	SVM	Original	Tecido	0,99	0,08	16,4
326	Milho	SVM	Detrend	Tecido	0,99	0,08	16,7
326	Milho	SVM	Standard Normal Variate	Tecido	0,99	0,08	16,7
326	Milho	SVM	Savitzky-Golay Derivative	Tecido	0,99	0,08	16,7

Conforme a classificação de Veum et al. (2015), todos os valores de coeficiente de determinação (R²) obtidos nas análises podem ser considerados satisfatórios. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Yarcé e Rojas (2012), no qual buscaram desenvolver uma metodologia para quantificação de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe) em folhas de cana-de-açúcar utilizando a espectroscopia NIR, obtendo coeficientes de determinação R² semelhantes, especialmente quando se compara o N, que alcançou um R² de 0,98. Os resultados obtidos por Prananto et al. (2021) demonstraram alta precisão na predição de macronutrientes, com valores entre $0,76 \leq R^2 \leq 0,98$ para N, P, K, Ca, Mg e S, e para micronutrientes, entre $0,64 \leq R^2 \leq 0,81$ para Fe, Mn, Cu, Mo, B, Cl e Na, na cultura do algodão.

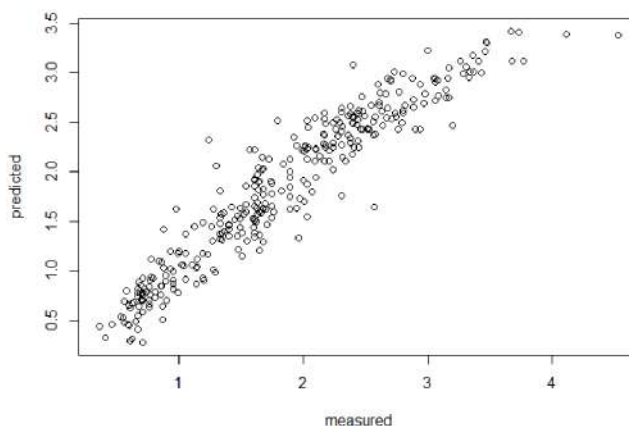
Em relação ao desempenho e à distância interquartil (RPIQ), foram encontrados dados bastante divergentes entre os modelos de predição Partial Least Squares Regression (PLSR) e Support Vector Machine (SVM), apresentando valores de 4,07 a 4,88 e 16,44 a 16,73, respectivamente (Figura 2A). Mesmo assim, apesar de ambos os modelos serem considerados satisfatórios de acordo com Veum et al. (2015), o método de calibração Support Vector Machine (SVM) atingiu valores de RPIQ mais confiáveis e precisos. As médias de RPIQ para ambos os modelos podem ser constatadas na Figura 2B.

Figura 2 - Comparativo dos valores da relação entre o desempenho e a distância interquartil (RPIQ) (A) e comparativo da média da relação entre o desempenho e a distância interquartil (RPIQ) (B) dos pré-processamentos utilizados entre os métodos de calibração multivariada *Partial Least Squares Regression* (PLSR) e *Support Vector Machine* (SVM).



Johnson et al. (2021) avaliou a concentração de nitrogênio em grãos com casca e palha de arroz utilizando a espectroscopia de infravermelho combinada com o método de calibração *Partial Least Squares Regression* (PLSR), encontrando valores de $0,81 \leq R^2 \leq 0,87$, $3,62 \leq RPIQ \leq 4,41$ e $0,14 \leq RMSECV \leq 0,17$, muito similares aos valores encontrados neste estudo. O R^2 encontrado pelos autores para a estimativa do teor de nitrogênio foi de 0,81, utilizando-se o método de calibração *Partial Least Squares Regression* (PLSR) e o pré-processamento *Savitzky-Golay Second Derivative*. Entre os diferentes pré-processamentos utilizados com o modelo de predição *Partial Least Squares Regression* (PLSR), aquele que apresentou o melhor desempenho foi o *Savitzky-Golay Derivative* (SGD), com um $R^2 = 0,90$, conforme ilustrado na Figura 3. No entanto, é importante notar que o desempenho deste pré-processamento ficou abaixo dos demais pré-processamentos testados em conjunto com o método multivariado SVM.

Figura 3 - Valores preditos e mensurados por NIR em 326 amostras de tecido vegetal de milho através do modelo de predição *Partial Least Squares Regression* (PLSR) e pré-processamento *Savitzky-Golay Derivative* (SGD).



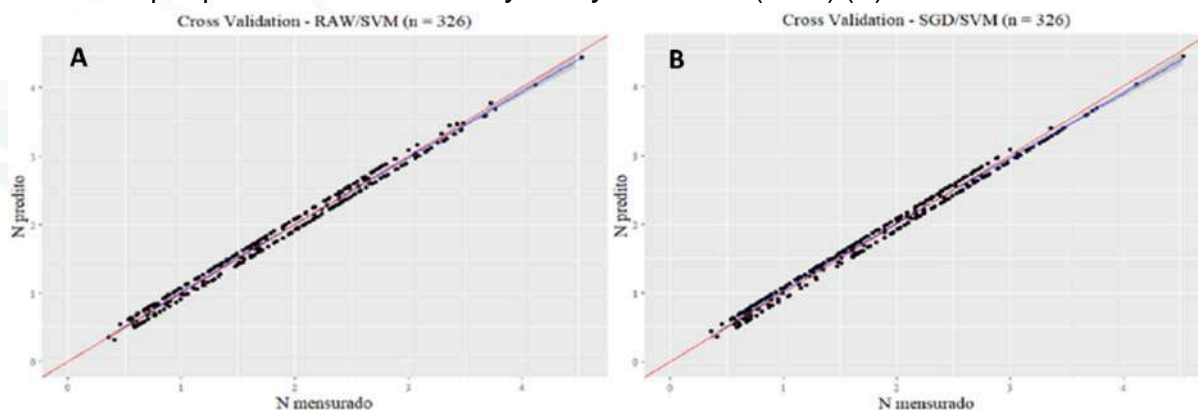
Os resultados derivados da aplicação do modelo de predição *Support Vector Machine* (SVM) sem a realização de pré-processamentos, ou seja, com os dados brutos, estão apresentados na Figura 4. Nota-se que mesmo nesta condição, os resultados previstos e estimados exibem uma notável semelhança, evidenciada por um R^2 de 0,99. Além disso, são expostos os resultados alcançados pelo modelo de predição *Support Vector Machine* (SVM) em

conjunto com o pré-processamento *Savitzky-Golay Derivative* (SGD), sendo essa combinação a de melhor desempenho no presente estudo.

Zhai et al. (2012) comparou os métodos de predição *Partial Least Squares Regression* (PLSR) e *Support Vector Machine Regression* (SVMR) com o propósito de estimar os teores de nitrogênio, fósforo e potássio em diversas plantas utilizando a espectroscopia de reflectância no visível e no infravermelho próximo (Vis-NIR) baseada em laboratório. Os resultados obtidos indicaram que o método *Support Vector Machine Regression* (SVMR) demonstrou uma maior precisão nas estimativas, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,71, 0,72 e 0,70 para as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, em comparação ao método *Partial Least Squares Regression* (PLSR), que registrou coeficientes de determinação de 0,66, 0,64 e 0,54.

Em consonância com os achados do presente estudo, a pesquisa realizada por Johnson et al. (2021) alcançou melhores resultados com o pré-processamento *Savitzky-Golay Second Derivative* dentre os cinco métodos de pré-processamento avaliados, que incluíam a ausência de pré-processamento espectral, *Standard Normal Variate* (SNV), *Standard Normal Variate seguida de Detrend* (SNV-Detrend), *first-order Savitzky-Golay Derivative* e *Savitzky-Golay Second Derivative*.

Figura 4 - Valores preditos e mensurados por NIRS em 326 amostras de tecido vegetal de milho através do modelo de predição *Support Vector Machine* (SVM) sem uso de pré-processamento (A) e com uso de pré-processamento *Savitzky-Golay Derivative* (SGD) (B).



4. CONCLUSÃO

A aplicação da técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) demonstrou sua capacidade de prever com alta precisão os níveis de nitrogênio presentes nos tecidos foliares de milho, oferecendo uma alternativa que agiliza o processo de análise desses tecidos. Os modelos de calibração *Support Vector Machine* (SVM) e o pré-processamento *Savitzky-Golay Derivative* (SGD) obtiveram os resultados mais promissores.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório Federal de Defesa Agropecuária (LFDA - RS) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), no município de Porto Alegre/RS.

REFERÊNCIAS

- BATTEN, G. D., BLAKENEY, A. B., 1991. **Applying NIR to crop nutrient assessment**. NIR news 2, 10–11.
- BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003, 78p.
- BOKOBZA, L. Near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.6, n.1, p.3-17, 1998.
- DEMATTE, J. A. M. et al. The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): a general view, application and challenges. **Geoderma**, v. 354, [art.] 113793, [p. 1-21], 2019.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecidos Vegetais. Brasil: Embrapa, [2021]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130252/1/2005CL-011.pdf>>. Acesso em 11 de out. de 2021.
- FERREIRA, P. H. **Redução da dimensionalidade para estimativa de teores de nutrientes em folhas e grãos de soja com espectroscopia no infravermelho**. Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2017.
- JOHNSON, J.-M. et al. Application of infrared spectroscopy for estimation of concentrations of macro- and micronutrients in rice in sub-Saharan Africa. **Field Crops Research**, v.270, p.108-222, 2021.
- MACEDO, R. S. et al. Evaluation of nitrogen nutritional status in sugar cane through canopy spectral reflectance. **Precision Agriculture**, v.21, n.5, p.924-943, 2020.
- MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.
- MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press, 2012.
- NETO, W. B. **Parâmetros de qualidade de lubrificantes e óleo de oliva através de espectroscopia vibracional, calibração multivariada e seleção de variáveis**. Tese (Doutorado) —Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005.
- PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.14, n.2, p.198-219, 2003.
- PRANANTO, J. A; MINASNY, B; WEAVER, T. **Near infrared (NIR) spectroscopy as a rapid and cost-effective method for nutrient analysis of plant leaf tissues**. Chapter in Advances in Agronomy, Sydney, v.164, 2020.
- PRANANTO, J. A; MINASNY, B; WEAVER, T. Rapid and cost-effective nutrient content analysis of cotton leaves using near-infrared spectroscopy (NIRS). **PeerJ**, v.9, p.e11042, 2021.
- RODRIGUES, M. et al. **Espectroscopia Vis-NIR: da estimativa da produção de massa seca da folha à previsão de macro e micronutrientes em lavouras de soja**. Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 2020.
- PRANANTO, H.; MINASNY, B.; WEAVER, D. M. Soil sensing and plant analysis as tools for enhancing nitrogen management in cropping systems. **Plant and Soil**, v. 447, n. 1-2, p. 1-23, 2020.
- SHENK, J; WESTERHAUS, M; HOOVER, M, 1979. **Analysis of forages by infrared reflectance**. J. Dairy Sci. 62, 807–812.
- STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6. ed. Artmed, 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

VAN MAARSCHALKERWEERD, M; HUSTED, S. Recent developments in fast spectroscopy for plant mineral analysis. **Frontiers in Plant Science**. V.6, n.169, 2015.

VEUM, Kristen S. et al. Estimating a soil quality index with VNIR reflectance spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v.79, n.2, p.637-649, 2015.

VISCARRA ROSSEL, R. A. et al. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, v.131, p.59-75, 2006.

YARCE, C.J., ROJAS, G. **Near infrared spectroscopy for the analysis of macro and micronutrients in sugarcane leaves**. V.137, n.707, 2012.

ZORNOZA, R.; GUERRERO, C. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.40, n.7, p.1923-1930, 2008.

MAPAS DE NDVI PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO DIFERENCIADAS PARA A VITIVINICULTURA

NDVI maps for definition of management zones for wine vines

Júlia Faccin Faé¹; Alexandre Alan Cassinelli¹; Luís Felipe Rossetto Gerlach¹; Antônio Luis Santi²;
Gilmar Arduino Bettio Marodin¹; André Luis Vian¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre - RS. E-mail: juliaffae@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais,
E-mail: santi_pratica@yahoo.com.br

RESUMO

A utilização da Agricultura de Precisão (AP) na vitivinicultura brasileira é recente, e o conhecimento e a adaptabilidade das ferramentas de AP é indispensável para a sua maior adoção na cultura. O objetivo deste trabalho é utilizar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para definição de unidades de gestão diferenciadas (UGDs) como uma forma de entendimento da gestão da variabilidade espacial do vinhedo. Para realização do estudo foram utilizadas duas quadras em um vinhedo comercial, das variedades de Merlot e Chardonnay, onde foi determinado três UGDs (alto, médio e baixo vigor) baseadas na média de sete mapas de NDVI ao longo de dois anos, em diferentes momentos durante o ciclo da videira. Foram analisados dados de duas safras, referentes a produtividade e qualidade da uva em 15 pontos amostrais distribuídos por três UGDs. Os resultados obtidos até o presente momento indicam que o NDVI pode ser usado para delimitar UGDs em vinhedo, mas ainda são necessárias adequações para a cultura da videira.

Palavras-chave: *Vitis vinífera*. vitivinicultura de precisão. imagens de satélites.

ABSTRACT

The use of Precision Agriculture (PA) in Brazilian viticulture is recent, and the knowledge and adaptability of PA tools is essential for the successful adoption in the culture. The objective of this work is to use the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to define differentiated management units (DMUs) as a way to understand the management of spatial variability off the vineyard. Two plots in a commercial vineyard of Merlot and Chardonnay varieties were used to conduct the study, where three DMUs (high, medium and low vigor) were determined based on the average of seven NDVI maps over two years, at different dates during the plant cycle Data from two harvests were analyzed, such as Grape yield and quality were analyzed at 15 sampling points distributed over three DMUs. The results obtained so far indicate that the NDVI can be used to delimit DMUs in vineyards, but adaptations are still necessary for the vine culture.

Keywords: *Vitis vinífera*. Precision viticulture. satellite images.

1. INTRODUÇÃO

Na cadeia vitivinícola, a utilização de ferramentas tecnológicas de Agricultura de Precisão (AP) é uma tendência relativamente recente, conforme apresentado em Bramley; Hamilton, 2004 e Arnó et al., 2009. Apesar do potencial frutífero proeminente do Brasil, particularmente no estado do Rio Grande do Sul, a implementação generalizada de tecnologias nesse setor ainda se encontra em estágios iniciais. Ainda existem diversos impasses que dificultam uma adoção mais ampla, tais como a adaptação das soluções disponíveis às demandas específicas da vitivinicultura, bem como a sua viabilidade e adaptabilidade às particularidades dos vinhedos.

A incorporação das ferramentas da AP na vitivinicultura proporciona uma abordagem valiosa para compreender a variabilidade tanto temporal quanto espacial do solo e das plantas. Métodos como o sensoriamento remoto, utilizando índices de vegetação e a monitorização das condições de desenvolvimento das plantas, desempenham um papel crucial na gestão do vinhedo. Isso é alcançado pela segmentação do vinhedo em unidades de manejo distintas, com o objetivo de otimizar a produção, a qualidade das colheitas e, consequentemente, o rendimento econômico.

A variação espacial intrínseca dos vinhedos é uma observação recorrente, manifestando-se como regiões distintas dentro da área de produção, caracterizadas por diferentes fatores como topografia, exposição solar, tipo e textura do solo, perfil do solo, e inclinação, entre outros, que, por sua vez, conferem potenciais produtivos diversos dentro do mesmo vinhedo (Miele et al., 2014). Assim, se propôs a criação de Unidades de Gestão Diferenciada (UGDs) com base em Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), permitindo a identificação de zonas mais homogêneas nos vinhedos, ou seja, áreas com mínima variabilidade espacial e que se mantêm consistentes ao longo do tempo (Mann et al., 2010). A delimitação dessas UGDs geralmente se baseia em mapas de características não influenciadas pelo homem e permanentes da área, como propriedades do solo (tipo, textura, condutividade elétrica), relevo, entre outros. A partir da determinação destas UGDs, as práticas de manejo agrícola podem ser adaptadas especificamente para cada uma delas, levando em consideração as características limitantes específicas de cada área.

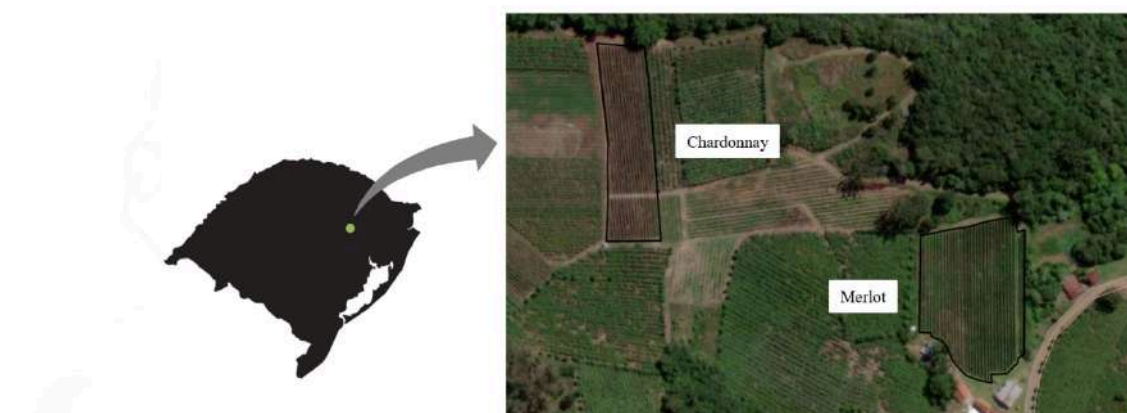
O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um dos índices de vegetação mais utilizados na agricultura atualmente, por se relacionar diretamente com o teor e concentração de clorofila nas folhas e com a biomassa do dossel vegetativo da planta, sendo estimado pela reflectância do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED). A variação numérica do NDVI varia entre os valores de menos um (-1) a mais um (+1), onde zero representa a falta/ausência de vegetação e valores próximos a +1 (0,8 – 0,9) indicam uma alta densidade vegetal (Nasa, 2000). A obtenção do NDVI pode ser realizada por meio de diversas plataformas equipadas com sensores de vegetação distintos. Nesse contexto, merecem destaque os sensores próximos e as imagens de satélite, que têm como objetivo capturar dados de reflectância em tempo real dos vinhedos, viabilizando a correlação entre parâmetros de estado nutricional das plantas, de início do rebrote, de desenvolvimento das plantas e estresses bióticos e abióticos (Ammoniaci et al., 2021).

Neste contexto, a delimitação dessas UGDs torna-se uma etapa importante no âmbito da gestão da produção vitivinícola. Diversas abordagens metodológicas podem ser empregadas para a determinação destas unidades de manejo. Deste modo, o presente estudo visa a testagem de uma das metodologias de delineamento das UGDs, com o propósito de explorar condições de gestão avançadas para os vinhedos, uma vez que possibilitam o entendimento da micro variabilidade espacial do solo e de plantas, para que se possa contribuir para a otimização dos custos de produção, bem como para o incremento da competitividade do setor vitivinícola nacional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em dois vinhedos da vinícola Casa Ângelo Fantin, localizado no município de Monte Belo do Sul (RS). O município está situado na região fisiográfica da Encosta Superior do Planalto, no Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, inserido na Serra Gaúcha, região característica da produção de vinhos do Brasil. O clima, de acordo com a metodologia de Köppen, apresenta classificação Cfb, que corresponde a um clima temperado úmido com verões amenos. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.770 mm com distribuição média superior a 100 mm (Tonietto et al., 2008). O experimento foi realizado com as variedades: Chardonnay e Merlot, cultivadas sob sistema de condução espaldeira e com 8 e 12 anos, respectivamente (Figura 1). Para a variedade Merlot é empregada a poda de frutificação Cordão Esporonado e para a variedade Chardonnay é utilizada a poda de frutificação Guyot duplo.

Figura 1 - Localização das quadras de Merlot e Chardonnay utilizadas no experimento.



Fonte: Autores (2023).

Para a definição das UGDs em cada um dos vinhedos, utilizou-se o NDVI como informações básicas para a delimitação. Para construir as UGDs foram selecionados sete (7) mapas de NDVI das duas últimas safras (2020 e 2021), que foram selecionados em diferentes períodos do vinhedo e com diferentes estádios de desenvolvimento da videira, sendo as seguintes datas: (20/06/2020, 21/09/2020, 22/11/2020, 15/12/2020, 31/08/2021, 25/10/2021, 04/11/2021).

As informações de NDVI foram obtidas por meio de imagens de satélites com resolução espacial de 3 m x 3 m. As imagens foram obtidas pelos satélites da Constelação Planet, composta por 150 satélites, oferecendo quatro bandas multiespectrais: Vermelho, Verde, Azul (RGB) e infravermelho. Para o processamento das imagens, definição e construção das UGDs utilizou-se a plataforma Auravant®. Através do algoritmo utilizado pela plataforma foi mensurado o NDVI médio de cada pixel (9m²) para obter a variabilidade espacial do mapa e assim realizar posteriormente a interpolação para determinação das unidades de gestão.

Com o auxílio do aplicativo móvel da plataforma Auravant® no smartphone foram distribuídos cinco pontos amostrais dentro dos limites de cada UGD, compostos por uma planta georreferenciada e mais quatro plantas selecionadas ao seu redor para compor as subamostras do ponto amostral. Dessa forma, em cada quadra, foram demarcados 15 pontos amostrais, totalizando 30 pontos no experimento. A quadra de Chardonnay e Merlot possui 0,40 e 0,45 hectares, respectivamente. As unidades de gestão propostas foram classificadas em baixo, médio e alto vigor, de acordo com o valor médio de NDVI para classificação. Considerando a variabilidade espacial existente, definiram-se diferentes UGDs para cada área, sendo os valores apresentados na tabela abaixo (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios de NDVI utilizados para a classificação das unidades de gestão diferenciadas.

UGDs	Merlot	Chardonnay
Alto vigor	0,73 a 0,81	0,70 a 0,79
Médio vigor	0,65 a 0,72	0,61 a 0,69
Baixo vigor	0,55 a 0,64	0,51 a 0,60

Legenda: UGDs - unidades de gestão diferenciadas. Fonte: Autores (2023).

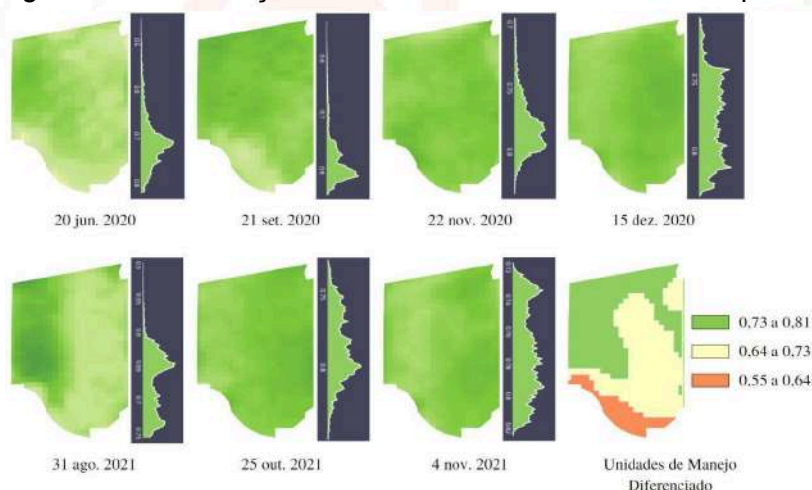
Além disso, após a poda de inverno seguinte da safra 2022, foi calculado para cada ponto amostral da quadra de Merlot, o Índice de Ravaz, um indicativo para mensurar o nível de vigor em um vinhedo, que se caracteriza por ser uma relação da produção de frutos por planta (kg) sobre o peso do material podado (kg). Esse índice é utilizado para determinar o equilíbrio e o vigor das plantas.

As colheitas das safras de 2022 e 2023 foram executadas, permitindo uma análise abrangente dos aspectos de produção em termos de área total (kg ha^{-1}), produção por Unidades de Gestão Diferenciada (UGDs) (Kg/ponto), cachos por planta e qualidade do mosto da uva. Esta análise abrangeu parâmetros como grau Brix°, Acidez Total e pH do mosto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 3 e 4, são apresentados os sete (7) mapas de NDVI utilizados para a construção das UGDs e seus respectivos histogramas. Esses mapas foram empregados para realizar a interpolação e construção das médias de definição das UGDs.

Figura 3 - Os sete mapas de NDVI e seus respectivos histogramas ao longo do ciclo da videira e o mapa das UGDs segundo a classificação dos valores médios de NDVI da quadra Merlot.

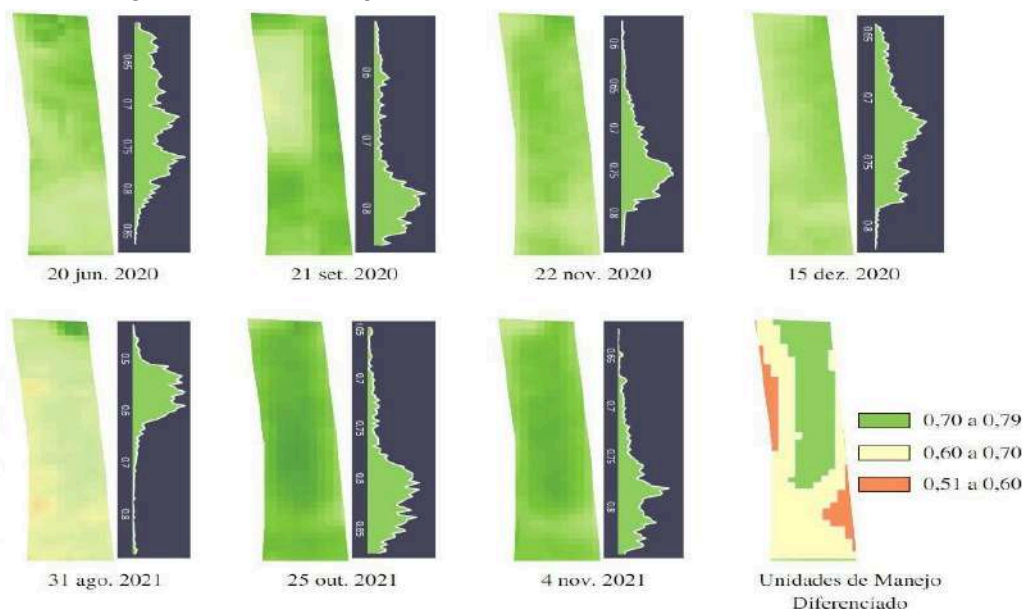


Fonte: Autores (2023).

No mapa final, estão claramente delineadas as três unidades nas quais os pontos amostrais foram distribuídos para a coleta das análises de planta, solo e mosto da uva. Evidencia-se nos mapas apresentados e seus respectivos histogramas, que existe uma variação do NDVI ao longo do ciclo da videira nas duas safras anteriores. Entretanto, salienta-se que os valores médios de NDVI foram obtidos em área total, sem a exclusão das entrelinhas do vinhedo, o que pode ter ocasionado alguma interferência na definição das UGDs. Por outro lado, a não exclusão das

entrelinhas pode não ser um problema, pois como ao longo da safra o vinhedo possui a cobertura vegetal de diferentes espécies de plantas de cobertura, e nesse sentido, essas plantas também desempenham um papel significativo na expressão da microvariabilidade espacial dentro do vinhedo.

Figura 4 - Os sete mapas de NDVI e seus respectivos histogramas ao longo do ciclo da videira e o mapa das UGDs segundo a classificação dos valores médios de NDVI da quadra Chardonnay.



Fonte: Autores (2023).

Pode-se observar a partir dos dados da quadra de Merlot (Tabela 2) que ocorreram diferenças estatisticamente significativas na produção entre os ambientes de baixo e médio vigor. No entanto, as médias entre o ambiente de alto vigor e os de baixo e médio vigor não demonstraram diferenças significativas. Ademais, não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes entre esses dois ambientes, sugerindo a possibilidade de utilizar apenas duas UGDs em vez de três. Essa observação corrobora com o estudo de Martinez-Casasnovas et al. (2012), que analisou o potencial dos mapas NDVI na criação de unidades de manejo diferenciadas para colheita seletiva.

Tabela 2 - Resultado das análises de variância e do teste de comparação de médias para avaliar a produção (kg/ha), média de cachos/planta, e variáveis de qualidade de mosto, sendo Brix°, Acidez total (AT) nos três ambientes de produção da quadra Merlot, safra 2022.

Merlot/2022					
	Produção (Kg/ha)	cacho/planta	Brix°	AT	pH
AV	9353.3 ab	25,4 b	22,0	7,5 b	3,6
MV	8766.7 b	27,3 a	21,9	7,7 b	3,6
BV	10922.7 a	25,4 b	21,2	8,4 a	3,5
			ns		ns

*Probabilidade de erro ao afirmar que houve efeito do tratamento, segundo o teste F da análise de variância.

** Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas ou maiúsculas nas linhas não diferem. Tukey 5%. Legenda: AV – Alto vigor; MV – Médio vigor; BV – Baixo vigor; AT – Acidez total.

Na safra de 2023, observou-se novamente diferenças estatisticamente significativas entre a produção das UGDs de baixo e médio vigor (Tabela 3). Entre a UGD de alto e médio vigor não houve diferenças significativas, reforçando os dados obtidos da safra anterior. Nas avaliações qualitativas do mosto da uva das duas safras analisadas, não foi identificada nenhuma diferença estatisticamente significativa em relação aos parâmetros de pH do mosto nas três UGDs. No entanto, foi constatado diferenças na acidez total (AT) e grau brix°, na safra 2022 e 2023, respectivamente. Esta observação pode ser justificada pela diferença de produção entre as UGDs, pois o aumento ou diminuição desses parâmetros são explicados pela relação Brix°/AT do mosto, a qual contribui para o equilíbrio gustativo do vinho (Guerra, 2002).

Tabela 3 - Resultado das análises de variância e do teste de comparação de médias para avaliar a produção (kg/ha), média de cachos/planta, e variáveis de qualidade de mosto, sendo Brix°, Acidez total (AT) nos três ambientes de produção da quadra Merlot, safra 2023.

Merlot/2023					
	Produção (Kg/ha)	cacho/planta	Brix°	AT	pH
AV	7770.7 b	21	22,8 a	9,1	3,5
MV	7184.0 b	20	22,4 a	8,9	3,5
BV	9240.0 a	22	20,9 b	10,1	3,4
		ns		ns	ns

*Probabilidade de erro ao afirmar que houve efeito do tratamento, segundo o teste F da análise de variância.

** Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas ou maiúsculas nas linhas não diferem. Tukey 5%. Legenda: AV – Alto vigor; MV – Médio vigor; BV – Baixo vigor; AT – Acidez total.

Na quadra Chardonnay, observa-se diferenças estatisticamente significativas na produção entre as UGDs. Na safra 2022 (Tabela 4), a UGD de baixo vigor apresentou uma produção superior em comparação com as unidades de médio e alto vigor, os quais, por sua vez, não mostraram diferenças significativas em relação à produção, bem como aos parâmetros Brix° e pH. Na safra 2023 (Tabela 5), novamente a unidade de baixo vigor representou a área de maior produção, quando comparada às outras duas UGDs.

Tabela 4 - Resultado das análises de variância e do teste de comparação de médias para avaliar a produção (kg/ha), média de cachos/planta, e variáveis de qualidade de mosto, sendo Brix°, Acidez total (AT) nos três ambientes de produção da quadra Chardonnay, safra 2022.

Chardonnay/2022					
	Produção (Kg/ha)	cacho/planta	Brix°	AT	pH
AV	9033.3 b	33,2 b	22,0	6,8 b	3,6
MV	9073.3 b	35 a	21,4	7,4 a	3,5
BV	9793.3 a	18,9 c	21,8	7,4 a	3,5
			ns		ns

*Probabilidade de erro ao afirmar que houve efeito do tratamento, segundo o teste F da análise de variância.

** Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas ou maiúsculas nas linhas não diferem. Tukey 5%. Legenda: AV – Alto vigor; MV – Médio vigor; BV – Baixo vigor; AT – Acidez total.

Os dados de produtividade das duas safras apresentam valores menores nas UGDs de médio e alto vigor, se comparados com o ambiente de baixo vigor. Isso pode ser atribuído a um excesso de vigor nas plantas, uma vez que, nos ambientes de médio e alto vigor, os valores de NDVI são mais elevados, o que sugere uma biomassa vegetal maior e possivelmente teores

superiores de nitrogênio nas folhas. Esses fatores, por sua vez, promovem um crescimento vegetativo exacerbado, o que pode resultar na redução da fecundação das flores, no aumento da incidência de doenças fúngicas e na diminuição do peso e tamanho dos cachos. Consequentemente, esses efeitos cumulativos culminam na diminuição da produção de uva (DUCHÊNE et al., 2001; BRUNETTO, 2008).

Tabela 5 - Resultado das análises de variância e do teste de comparação de médias para avaliar a produção (kg/ha), média de cachos/planta, e variáveis de qualidade de mosto, sendo Brix°, Acidez total (AT) nos três ambientes de produção da quadra Chardonnay, safra 2023.

Chardonnay/2023					
	Produção (Kg/ha)	cacho/planta	Brix°	AT	pH
AV	7450.7 c	19	17,7	9,9	3,2
MV	8250.7 b	17	17,5	8,7	3,2
BV	8970.7 a	19	16,8	9,9	3,2
		ns	ns	ns	ns

*Probabilidade de erro ao afirmar que houve efeito do tratamento, segundo o teste F da análise de variância.

** Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas ou maiúsculas nas linhas não diferem. Tukey 5%. Legenda: AV – Alto vigor; MV – Médio vigor; BV – Baixo vigor; AT – Acidez total.

Além disso, foram coletados dados relativos ao peso de matéria seca removida durante o processo de poda na área de cultivo de Merlot no ano de 2022. Esses dados foram utilizados para calcular o Índice de Ravaz, que, de acordo com Kliewer e Dokoozlian (2005), serve como indicador do equilíbrio entre a produção e o vigor das videiras. O valor desse índice deve situar-se na faixa entre 4 e 10, sendo que valores inferiores a 4 denotam um excesso de vigor nas videiras e/ou uma produção de uva reduzida. No caso dos ambientes de alta e média produtividade, os valores médios do Índice de Ravaz foram de 3,5 e 4, respectivamente. Esses números sugerem uma possível baixa produção devido ao excesso de crescimento de ramos. Por outro lado, o ambiente de baixa produtividade registrou um valor médio de 5 para o Índice de Ravaz, indicando um equilíbrio entre a produção e o vigor das videiras.

CONCLUSÃO

Os dados coletados evidenciam que UGDs estabelecidas com base na interpolação de mapas de NDVI em diferentes estádios do ciclo de crescimento da cultura, podem ser uma abordagem viável para a definição de zonas diferenciadas na vitivinicultura, uma vez que, demonstraram relação com a produção, e revelaram a variabilidade espacial inerente ao vinhedo.

Dessa forma, os resultados preliminares deste experimento indicam um caminho promissor para a aplicabilidade das técnicas de AP no contexto da vitivinicultura. Estes resultados não apenas apontam para possíveis avanços na área, mas também abrem portas para estudos futuros, pois, apesar desses progressos na área, ajustes contínuos das ferramentas de AP para a cadeia vitivinícola ainda são necessários.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia (PPGFITO), ao Grupo de Estudos em Agricultura Digital (GEAD), e a Casa Ângelo

Fantin pela disponibilidade em utilizar suas instalações e equipamentos e a Vinícola Adega da Serra pela disponibilidade de uso de seu Laboratório de análises químicas.

REFERÊNCIAS

AMMONIACI, M. et al. State of the Art of Monitoring Technologies and Data Processing for Precision Viticulture. **Agriculture**, Suíça, v. 11, n. 3, p. 201, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/3/201>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ARNÓ, J. et al. Review. Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities insite-specific vineyard management. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Espanha, v.7, n. 4, p. 779, 2009. Disponível em: <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/view/1092>. Acesso em: 21 ago. 2023.

BRAMLEY, R.G.V; HAMILTON, R.P. (2004) Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Australia, v. 10, p. 32–45, 2004. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00006.x>. Acesso em: 20 ago. 2023.

GUERRA, C. C. **Maturação da uva e condução da vinificação para a elaboração de vinhos finos**. IN: Simpósio Mineiro de Viticultura e Enologia, Minas Gerais, p. 179-192. 2002. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/148891/1/Guerra-SMV_E-p179-192.pdf. Acesso em: 26 ago. 2023.

MARTINEZ-CASASNOVAS, J. A. et al. Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. **Spanish Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 326–337, 2012. Disponível em: <https://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/view/1998>. Acesso em: 01 ago. 2023.

MIELE et al. Efeito do tipo de solo nos compostos fenólicos e na atividade antioxidante do vinho. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia**, Bento Gonçalves, n.6, p.30-38, 2014. Disponível em: <https://www.enologia.org.br/default/uploads/revista/revista-30.pdf?d312a75327476bda651d52efe6647e94>. Acesso em: 20 ago. 2023.

MANN, K. K.; SCHUMANN, A. W.; OBREZA, T. A. Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 12, 4, p. 457-472, 2010.

NASA, Earth Observatory. **Measuring Vegetation (NDVI & EVI)**: normalized difference vegetation index (ndvi). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). 2000. Disponível em: https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php. Acesso em: 19 de ago. de 2023.

APLICAÇÃO DIRECIONADA EM PLANTAS DANINHAS A PARTIR DE ÍNDICE FOLIAR DE IMAGENS RGB

TARGETED APPLICATION ON WEEDS BASED ON LEAF INDEX FROM RGB IMAGES

Bruna Rathke¹; Larissa Barden Meira¹; Leonardo Seibel Sander¹; Maurício Frigo Dal'soto¹; Vanda Duarte¹, Lúcio de Paula Amaral¹;

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima n°1000 - Camobi, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, argronomabrunarathke@gmail.com; larissa.b.meira@gmail.com; leonardo.seibelsander@gmail.com; dalsoto.mauricio@gmail.com; vanda.agronomia@gmail.com

RESUMO

Considerando as inovações tecnológicas no cenário agrícola, surgiram soluções que possibilitam realizar a detecção e controle de plantas daninhas em sítios específicos. Uma dessas soluções, é o uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARP's) com sensores capazes de selecionar comprimentos de onda para diferenciação e identificação de espécies invasoras em relação à cultura principal de interesse agrícola. Assim, o objetivo desse trabalho é obter imageamento a partir do uso de ARP multirrotor com sensor RGB para detecção de plantas daninhas em área de pré-semeadura, para fins de criação de mapas prescritivos e integrados a softwares de pulverização localizada de herbicidas. O estudo foi conduzido em área localizada no município de Derrubadas, RS, a partir de plano de voo, captura e processamento de imagens, cálculo de IV e geração de mapas temáticos representativos do dossel vegetativo e da aplicação localizada de herbicidas. Resultados mostram-se satisfatórios, pois foi possível obter diferenciação dos alvos por índice GLI e, ao final da pulverização, economia de até 70% na aplicação de insumos. Logo, torna-se alternativa viável para o manejo fitossanitário proposto.

Palavras-chave: Dessecação. Economia de herbicida. Drone.

ABSTRACT

Taking advantage of technological innovations in the agricultural scenario, solutions emerged that enabled the detection and control of plants carried out on a specific site. One of these solutions is the use of remotely piloted aircraft (RPA's) with sensors capable of selecting wavelengths for differentiation and identification of invasive species in relation to the main crop of agricultural interest. Thus, the objective of this work is to obtain images using a multicopter RPA with an RGB sensor to detect plants detected in a pre-sowing area, for the purpose of creating prescriptive maps that can be integrated into localized herbicide concentration software. The study was conducted in an area located in the municipality of Derrubadas, RS, based on the flight plan, image capture and processing, IV calculation and generation of thematic maps representing the vegetative canopy and the localized application of herbicides. Results are overwhelming, as it was possible to obtain differentiation of targets by GLI index and, at the end of concentration, savings of up to 70% in the application of inputs. Therefore, it becomes a viable alternative for the proposed phytosanitary management.

Keywords: Desiccation. Herbicide savings. Drone.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da densidade populacional está diretamente ligado à necessidade do aumento na produtividade das áreas agrícolas, com intuito de suprir a demanda alimentícia mundial (CONAB, 2023). Dessa forma, é de suma importância conhecermos o ambiente de produção como um todo, desde a influência de fatores bióticos e abióticos em processos morfofisiológicos das plantas, os quais podem interferir nos diferentes estádios fenológicos durante o ciclo completo

das culturas, ou seja, desde a germinação das sementes até a maturação dos grãos (SANTOS, 2020).

Consequentemente, em relação aos altos rendimentos produtivos dessas culturas, há grande preocupação com o manejo de plantas daninhas, principalmente devido à sua habilidade agressiva de propagação nas lavouras. Essa sua agressividade é devido a sua alta variabilidade espacial (banco de sementes) e resistência a determinados herbicidas, gerando elevados prejuízos econômicos aos cultivos de interesse agrícola, sobretudo pela matocompetição ou por efeitos alelopáticos (ADEGAS et al., 2017; HEAP, 2023).

As inovações tecnológicas introduzidas no cenário agrícola, se tornam fundamentais para tomadas de decisões, para obtenção de maior rentabilidade e praticidade laboral aos produtores rurais. Dentro desse cenário, destaca-se a agricultura de precisão, caracterizada pela adoção de tecnologias relacionadas ao georreferenciamento por pontos precisos e elementos cartográficos para confecção de mapas temáticos, que visam especificar os manejos em determinadas áreas e racionalizar a aplicação de insumos agrícolas, em prol de maior eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental (BASSOI et al., 2019; EZENNE et al., 2019).

O manejo fitossanitário de plantas daninhas, existem tecnologias que possibilitam realizar a detecção e controle em sítio específico, como, por exemplo, o uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARP's) com sensores (POTT, 2019). Esses sensores são capazes de selecionar comprimentos de onda para diferenciação e identificação de espécies invasoras em relação à cultura principal de interesse agrícola (POTT et al., 2016).

Dentre as vantagens do uso de ARP's, destaca-se a facilidade de operação e manuseio do equipamento para amostragens em altitudes mais baixas, obtendo-se assim, imagens com alta resolução espacial, diferentemente do uso de satélites convencionais (HUNT; DAUGHTRY, 2018). Desse modo, em consorciação com sensor RGB ou multiespectral, é possível distinguir plântulas daninhas de culturas principais em estágios iniciais de desenvolvimento vegetal (SANTOS, 2019).

No sensoriamento remoto, os índices de vegetação são parâmetros matemáticos, os quais expressam dados quantitativos e qualitativos resultantes da interação entre radiação eletromagnética e plantas para posterior avaliação e diagnóstico desses dosséis vegetativos (FORMAGGIO & SANCHES, 2017). Hipoteticamente, embora o uso de sensores RGB apresentem entraves relacionados à precisão e calibrações de modelos (RIBEIRO-GOMES et al., 2017; AASEN; BOLTON, 2018), esses têm sido aplicados, à baixo custo operacional, como potencial alternativa para mapeamento de plantas daninhas (BALLESTEROS et al., 2018). Alguns índices, como, *Green Leaf Index* (GLI) e *Excesso of Green Index* (ExG), realçam a clorofila e os pigmentos fotossintéticos ativos ao mesmo tempo que suavizam objetos de fundo como solo exposto, sombreamento e plantas mortas (WOEBBECKE et al., 1995; LOUHAICHI et al., 2001; ZHENG et al., 2017).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo obter o imageamento a partir do uso de ARP multirrotor com sensor RGB para detecção de plantas daninhas em área de pré-semeadura, para fins de criação de mapas prescritivos e integráveis a softwares de pulverização localizada de herbicidas, e contabilizar a economia promovida por tal método.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma lavoura agrícola comercial localizada no município de Derrubadas, Rio Grande do Sul, com altitude de 430 metros delimitada entre as coordenadas geográficas (WGS 84): 53° 56,40" W e 27° 15,12" S, tipo de solo Latossolo profundo com 64% de argila, 12% de areia e 24% de silte onde foi realizado o voo para aquisição de dados na data de 26/05/2023, posterior a colheita da cultura antecessora soja (*Glycine max*), e será realizado o manejo químico para controle de plantas daninhas.

Utilizou-se o drone Phantom 4 Pro Plus®, com peso 1,380 kg, o modelo utilizado possui um controle remoto integrado com tela sensível ao toque de 5,5 polegadas. A Câmera RGB de 20 Megapixels embutida no drone possui um sensor CMOS de 1 polegada, com uma resolução de 20 megapixels e uma capacidade de captura de vídeo em resolução 4K (3840 x 2160), totalizando 8.294.400 pixels. Além disso, a câmera possui um obturador mecânico, que garante imagens nítidas e livres de distorções durante a captura de fotos e vídeos em movimento. A câmera é montada em um gimbal estabilizado de 3 eixos altamente estável, que permite a compensação de movimentos do drone durante o voo, garantindo imagens e vídeos suaves e de qualidade profissional, mesmo em condições de vento ou manobras rápidas.

Os formatos de gravação de imagem, a câmera suporta a captura em formato JPEG e DNG (RAW), oferecendo maior flexibilidade no pós-processamento das imagens para atender às necessidades específicas do projeto.

Antes do voo, realizou-se um planejamento detalhado da missão, definindo a área de interesse, altitude de voo 80 metros, sobreposição de imagens 2.2 cm/px e parâmetros de voo. A tecnologia *Precision Flight*® foi utilizada para programar a rota de voo, essa configuração permitiu que o drone sobrevoasse a área de interesse, seguindo trajetórias otimizadas, mantendo altitude e velocidade consistentes no sobrevoo da área.

Durante o voo, a câmera capturou uma série de imagens aéreas com intervalos regulares, garantindo uma sobreposição adequada entre as fotos. Após o voo, os dados coletados foram transferidos para o computador e armazenados de forma segura, com backups adequados para garantir a integridade dos dados.

As imagens foram importadas para o software *Agisoft Metashape Professional*®, uma ferramenta de processamento de imagens e fotogrametria. O processamento das imagens envolveu as seguintes etapas descritas a seguir.

Alinhamento das Imagens: o *Metashape Professional* utilizou algoritmos de correspondência de características para alinhar as imagens, encontrando pontos comuns entre elas e calculando suas posições e orientações relativas.

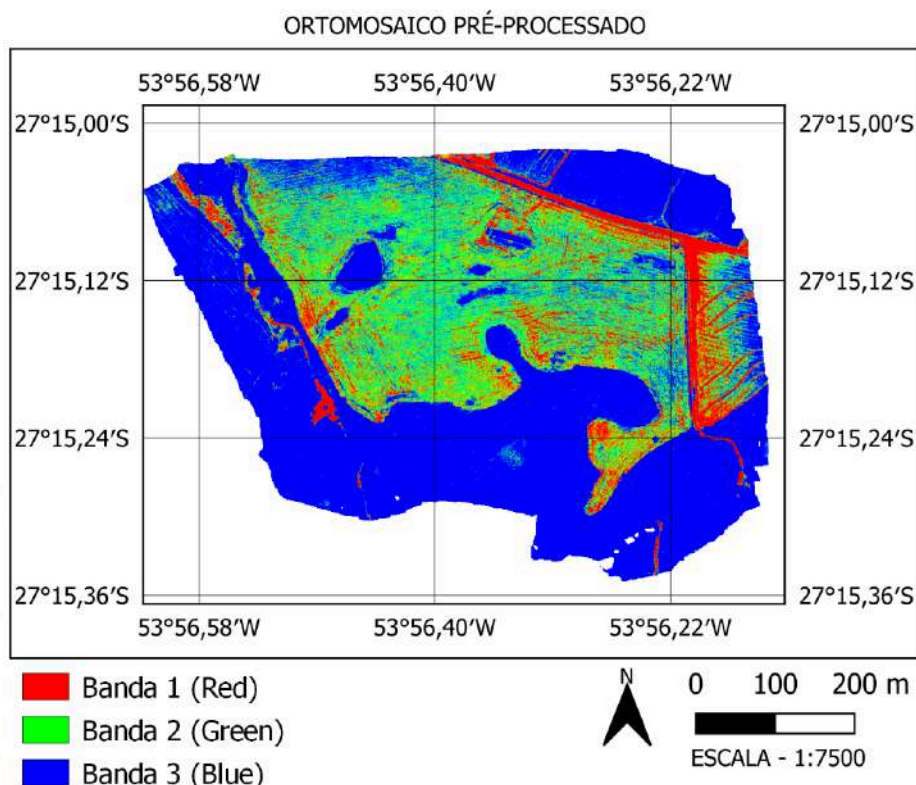
Geração da Nuvem de Pontos Densa: Com as imagens alinhadas, o *software* gerou uma nuvem de pontos densa, representando a superfície da área mapeada em coordenadas tridimensionais precisas.

Triangulação e Geração da Malha Tridimensional: A partir da nuvem de pontos densa, o *Metashape Professional* realizou a triangulação e gerou uma malha tridimensional que representa a superfície da área mapeada com detalhes e precisão.

Geração do Ortomosaico: Além da malha tridimensional, o *software* também gerou o ortomosaico da área. Esse ortomosaico é uma imagem plana e retificada, sem distorção, que permite medições precisas e análises em áreas extensas.

O processamento das imagens no *Agisoft Metashape Professional* permitiu a geração de produtos cartográficos e modelos precisos a partir das imagens captadas pelo drone *Phantom 4 Pro Plus*, representado pela Figura 1.

Figura 1 – Ortomosaico pré-processado.



Após o pré-processamento das imagens, através da ferramenta “*Calculador Raster*” disponível no *software* QGis 3.28, foi realizado o cálculo do índice pela equação 1. O *Green Leaf Index* (GLI) é utilizado como um indicador de clorofila, que visa averiguar onde há a presença de plantas vivas, mortas ou solo exposto, a sua variação tem amplitude entre os valores de -1 a 1, com valores negativos para tecidos mortos, e quanto mais próximo a 1 maior a massa foliar da planta (Louhaichi et al., 2001).

$$GLI = \frac{(2 \cdot G - R - B)}{(2 \cdot G + R + B)} \quad (1)$$

onde: R – banda espectral do vermelho; G – banda espectral do verde; B – banda espectral do azul.

Após o cálculo do índice, a mesma foi reprojeta para atender as condições de uma aplicação com pulverizadores. Dessa forma, no QGis, foi utilizado a ferramenta “Reprojetar Coordenadas”, passando de 0,03 m para 0,5 m. Esse agrupamento de valores se deu pela média dos indivíduos, e a partir do agrupamento, foram extraídos as variáveis estatísticas do modelo *raster* com a ferramenta “*r.report*”.

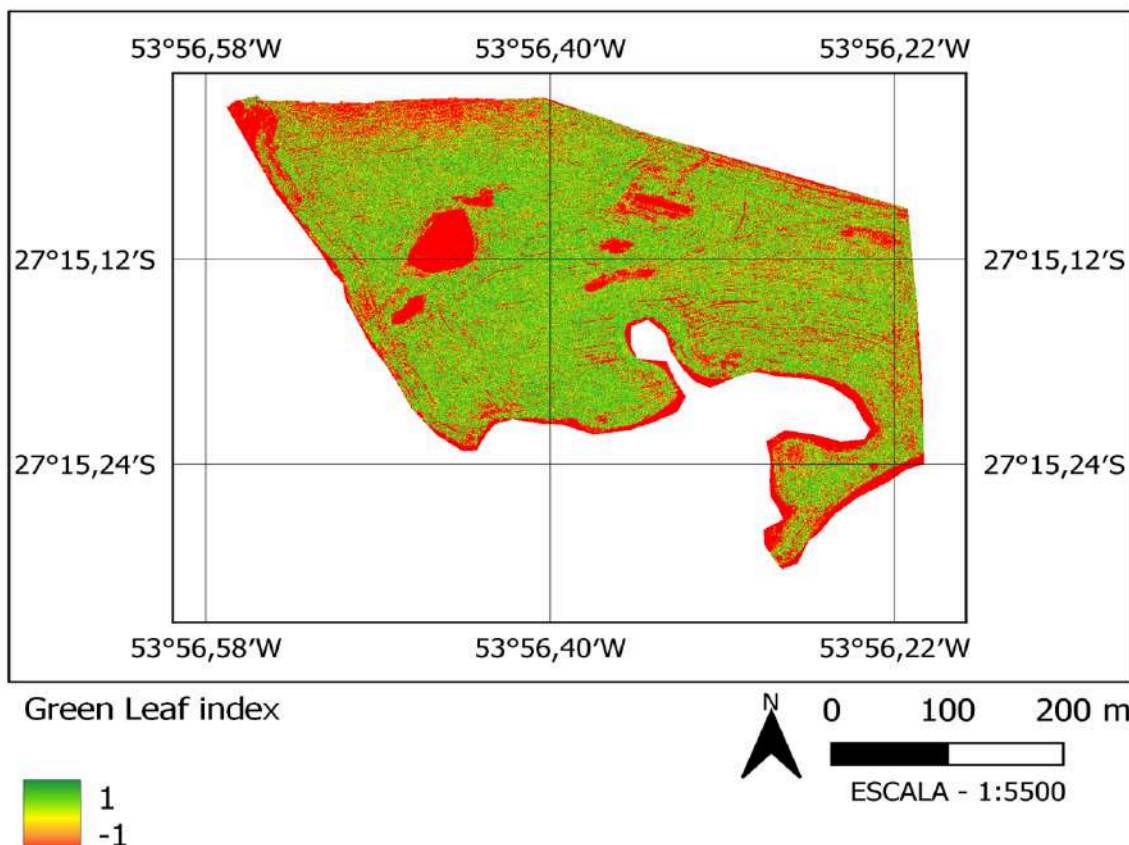
Para a simulação da aplicação foi utilizado um controlador *Stara Topper 5500* no seu modo denominado Simulador, em que o mesmo reproduz um cenário em que se tenha todos os controles de uma máquina. A configuração da máquina com dimensões reais, com barra de pulverização igual a 36 m, espaçamento de 0,5 m entre pontas, e desligamento de seção bico a bico. O mapa de aplicação foi transferido para o controlador para ser desempenhada a operação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do processamento das imagens, foi obtido um ortomosaico formando o índice denominado *Green Leaf Index*, com resolução de 3,0 cm pixel⁻¹. Encontrou-se os valores entre a

amplitude máxima do índice, áreas com tons mais próximos ao vermelho estão localizadas na distribuição mínima do índice e quando mais próximo a cor verde maior a atividade foliar das plantas, isso é representado pela Figura 2.

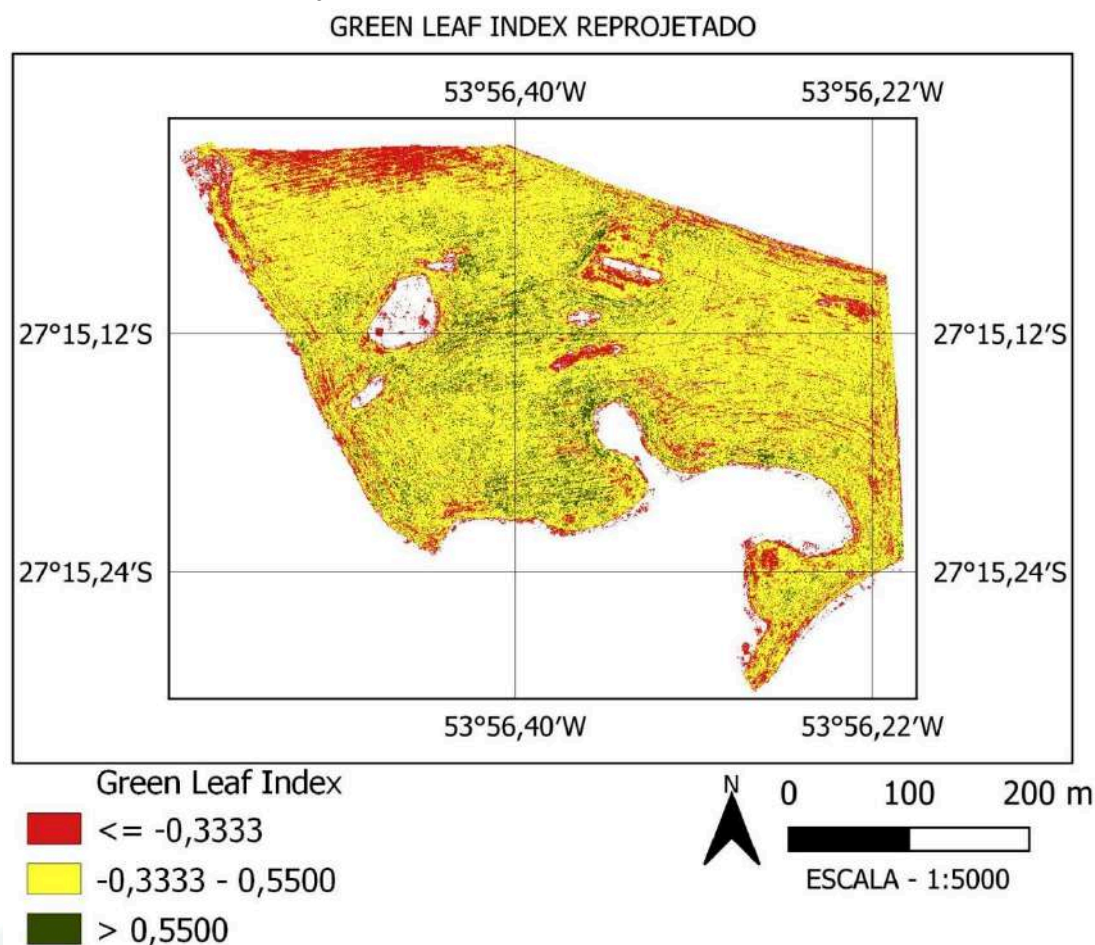
Figura 2 – *Green Leaf index*, da área de estudo em Derrubadas, Rio Grande do Sul.



Fonte: Autoria própria (2023)

Como o objetivo principal do trabalho era a simulação de uma pulverização dirigida, a resolução de 3,0 cm pixel⁻¹ seria inviável para esta aplicação. A camada foi reprojetada aglomerando os pixels em uma dimensão de 50,0 cm pixel⁻¹, atendendo desta forma a grande parte dos modelos comerciais apresentados pelo mercado de máquinas agrícolas. A reprojeção se baseou na média entre as amostras, e a partir desse ortomosaico foi possível classificar as zonas, entre solo exposto e vegetação nativa, palhada e regiões com plantas daninhas, sendo elas respectivamente encontradas entre os valores de -1 à 0; 0 à 0,55 e 0,55 à 1, conforme a figura 3.

Figura 3 – Green Leaf index projetado, da área de estudo em Derrubadas, Rio Grande do Sul.



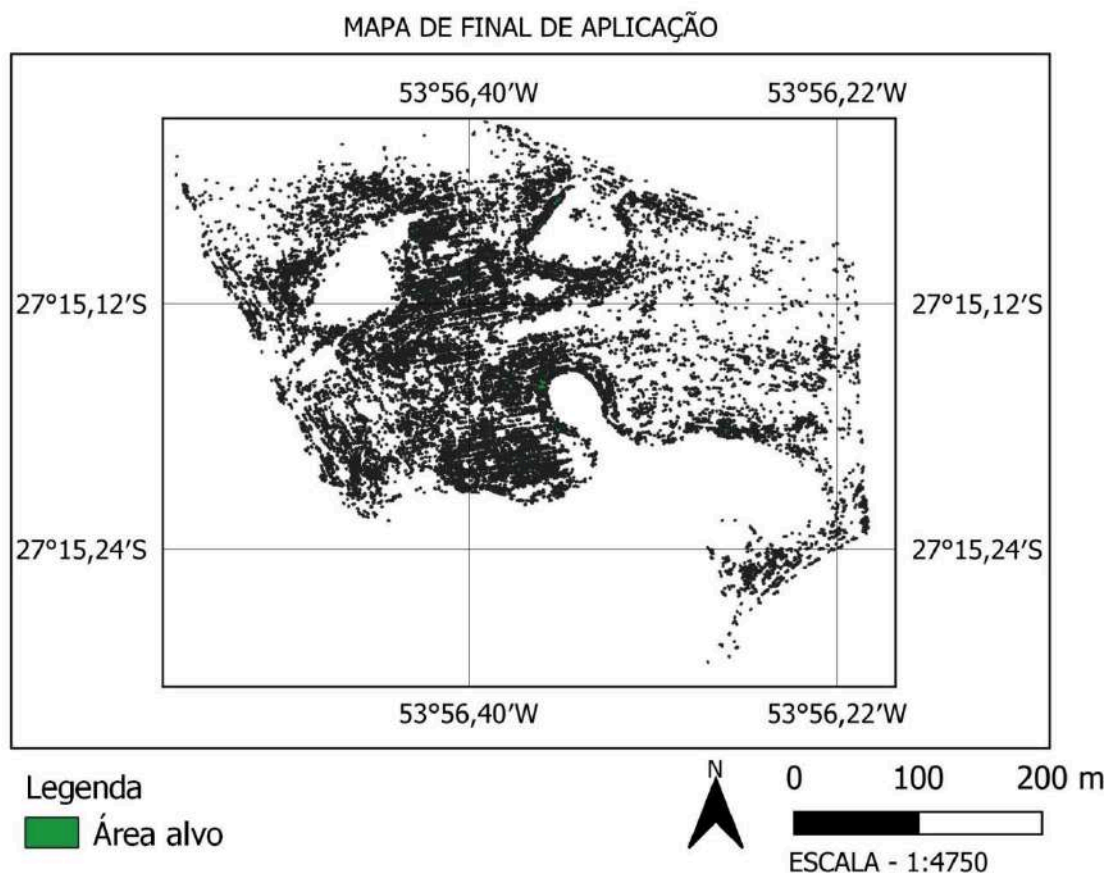
Fonte: Autoria própria (2023)

A partir da reprojeção, foi extraído o mapa de aplicação sendo esse selecionado na zona a partir do valor 0,55 até 1, onde foi encontrado maior ocorrência de vegetação sadia. Da Silva e colaboradores (2022) encontraram esse nível a partir do valor 0,41, mas não descrevem o tipo de planta analisada. O ajuste da taxa de aplicação ficou em 100 l ha^{-1} , contemplando uma área total na soma dos polígonos de 2,05 ha (Figura 4).

Com o mapa de aplicação definido, foi realizada a simulação em ambiente virtual com os parâmetros descritos anteriormente, segundo as estimativas de cálculo de área do controlador, a área total de aplicação foi de 4,45 ha.

Fatores como antecipação no acionamento das válvulas e algumas transposições para obter total cobertura do alvo, isso acontece por características do equipamento, cada válvula possui um tempo para abertura, isto é embarcado dentro do seu software, assim existe o tempo de antecipação da abertura, outro ponto fica pela operacionalização da área, que depende do ângulo da máquina em relação aos polígonos, o controlador sempre irá preenche-lo por completo, ou seja, pode acionar uma maior quantidade de seções para pulverizá-lo por completo.

Figura 4 – Mapa final de aplicação, da área de estudo em Derrubadas, Rio Grande do Sul.



Fonte: Autoria própria (2023)

Mesmo assim obteve-se uma economia significativa, mesmo não chegando aos patamares construídos pelo mapa original de aplicação, que estaria em torno de 86,38 %, mas ao final obteve-se pulverizou-se apenas 30 % da área total.

Esse resultado contribui em vários aspectos tendo em vista que o custo de herbicidas pode chegar a 48% dentro do programa de aplicações, dessa forma é possível racionalizar insumos e trabalhar com ingredientes ativos mais específicos, promovendo a rotação dos mesmos, além de ganhos ambientais pois existe uma redução no uso de agentes químicos para tratamento ou controle de plantas (SHIRATSUCHI, 2003).

4. CONCLUSÕES

A partir do índice *Green Leaf* foi possível caracterizar zonas que apresentaram plantas daninhas, em contraste a uma área com cobertura de restos culturais.

Os resultados mostram-se satisfatórios, pois ao final da pulverização, temos uma economia de 70 % na aplicação de insumos para controle de plantas daninhas.

AGRADECIMENTOS

Ao curso de Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão da UFSM, por possibilitar a realização deste trabalho na disciplina APG2401 - VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO, Turma 10, 2023/1ºSemestre.

REFERÊNCIAS

- AASEN, H.; BOLTON, A. Multi-temporal high-resolution imaging spectroscopy with hyperspectral 2D imagers – From theory to application. **Remote Sensing of Environment**, v. 205, n. October 2017, p. 374–389, 2018.
- ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D.; SILVA, A. F.; AGOSTINETTO, D. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas. **Embrapa soja**. Circular Técnica, 132. 11 pg. 2017.
- BALLESTEROS, R.; ORTEGA, J. F.; HERNANDEZ, D.; DEL CAMPO, A.; MOREN, M. A. Combined use of agro-climatic and very high-resolution remote sensing information for crop monitoring. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 72, n. May, p. 66–75, out. 2018.
- BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; CRUVINEL, P. E. **Agricultura de precisão e agricultura digital**. TECCOGS, n. 20, jul./dez., 2019. p.17-36.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Produção e balanço de oferta e demanda de grãos**. Quarto levantamento – safra 2022/2023. Brasília: 22 Companhia Nacional de Abastecimento. 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/graos>>. Acesso em: 14 julho. 2023.
- EZENNE, G. I.; JUPP, L.; MANTEL, S. K.; TANNER, J. L. Current and potential capabilities of UAS for crop water productivity in precision agriculture. **Agricultural Water Management**, 218:158-164, 2019.
- FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 284 p.
- HEAP. **International survey of herbicide resistant weeds**. 2023 Disponível em <<http://www.weedscience.org>>. Acesso em: 12 julho. 2023.
- HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture? **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 15–16, p. 5345–5376, 18 ago. 2018.
- LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001.
- POTT, L. P.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. **Tecnologias para detecção e controle em sítio-específico de plantas daninhas**. In: Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. 1ª Edição. Santa Maria: CESPOL, v.1, p. 159-187, 2016.
- POTT, L. P. **Detecção de plantas daninhas em pré-semeadura com base em dados espectrais de campo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa

Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, 48 f. 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/19101>. Acesso em: 10 jul. 2023.

RIBEIRO-GOMES, K.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D.; ORTEGA, J. F.; BALLESTEROS, R.; POBLETE, T.; MORENO, M. A. Uncooled Thermal Camera Calibration and Optimization of the Photogrammetry Process for UAV Applications in Agriculture. **Sensors**, v. 17, n. 10, p. 2173, 23 set. 2017.

SANTOS, C. G. **Monitoramento aéreo e diagnóstico de plantas daninhas de difícil controle no sudoeste goiano**. 2019. 65 p. Dissertação (Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde - GO, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/610>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SANTOS, S. T. da S. **Produtividade da cultura da soja influenciada por fatores bióticos e abióticos**. 2020. 46 f. Dissertação (Mestrado em Defesa Sanitária Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2020.

SHIRATSUCHI, L. S.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; FONTES, J. R. A. **Aplicação localizada de herbicidas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003.

ZHENG, Y.; ZHU, Q.; HUANG, M.; GUO, Y.; QIN, J. Maize and weed classification using color indices with support vector data description in outdoor fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 141, p. 215–222, 2017.

WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; V. B. K.; MORTENSEN, D. A. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. **Trans. ASAE**, v. 38, p. 259-269. 1995.

FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO EM CULTIVARES DE SOJA SUBMETIDAS AO ALAGAMENTO

High-throughput phenotyping in soybean cultivars submitted to flooding

Charleston dos Santos Lima¹; Luíza Rathke¹, Darci Uhry¹, Carlos Junior Leite¹, Vinícius da Costa Wiederkehr¹, André Luis Vian¹, Ivan Ricardo Carvalho², Christian Bredemeier¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712, 91540-000, Porto Alegre/RS, Brasil, charlescep009@gmail.com;

² Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rua do Comércio, 3000, 98700-000, Ijuí/RS, Brasil, Ivan.carvalho@unijui.edu.br

RESUMO

A fenotipagem de genótipos adaptados a condições de alagamento é fundamental para a rentabilidade da soja em terras baixas. Contudo, métodos clássicos possuem baixa operacionalidade e alto custo. Desta forma, o objetivo da presente pesquisa é avaliar a correlação de dados coletados a campo com informações espectrais e aplicar um modelo de predição para estimar caracteres importantes em cultivares submetidas ao alagamento. Evidenciou-se elevada correlação entre os dados de campo com NDVI do Greenseeker, com coeficientes de -0,81 e 0,79 para notas e produtividade, respectivamente. Além disso, houve correlação significativa entre o NDVI coletado com Greenseeker e os índices gerados a partir do VANT, os quais foram utilizados no modelo de predição para os dados de campo. Notas de tolerância e produtividade de grãos foram estimadas com $R^2 = 0,62$ e $0,91$, respectivamente, com variação quanto ao índice mais importante dentro do modelo. Conclui-se que existe correlação entre variáveis fitomorfológicas e dados espectrais, sendo possível a predição e avaliação de caracteres de cultivares de soja submetidas ao alagamento.

Palavras-chave: espectral, tolerância, VANT.

ABSTRACT

The phenotyping of genotypes adapted to flooding conditions is essential for soybean profitability in lowlands. However, classical methods have low operability and high cost. Thus, the objective of this research is to evaluate the correlation of data collected in the field with spectral information and apply a prediction model to estimate important characters in cultivars subjected to flooding. There was a high correlation between field data and the Greenseeker NDVI, with coefficients of -0,81 and 0,79 for score of tolerance and productivity, respectively. In addition, there was a significant correlation between the NDVI collected with Greenseeker and indices generated from the UAV, which were used in the prediction model for field data. Tolerance scores and grain yield were estimated with $R^2 = 0,62$ and $0,91$, respectively, with variation as to the most important index input in the model. It is concluded that there is a correlation between phytomorphological variables and spectral data, making it possible to predict and evaluate traits of soybean cultivars subjected to flooding.

Keywords: spectral, tolerance, flooding, UAV.

1. INTRODUÇÃO

A escolha de cultivares de soja adaptadas a condições de estresse por alagamento é um parâmetro decisivo para o sucesso da lavoura em terras baixas, pois plantas cultivadas nesses ambientes podem apresentar redução de até 56% de produtividade, quando o estresse ocorre no período reprodutivo da cultura (YE et al., 2018). Logo, a fenotipagem de plantas, ou seja, o estudo

detalhado de cada genótipo em nível morfológico e fisiológico durante o desenvolvimento torna-se fundamental para reduzir perdas e aumentar a rentabilidade (FIORANI; SCHURR, 2013; JOHANNSEN, 2014).

Empresas de melhoramento genético buscam avaliar seus genótipos a partir de métodos de fenotipagem baseados em medições a campo de biomassa vegetal, altura de plantas, notas visuais e produtividade, os quais apresentam baixo rendimento operacional e dificuldade em avaliar um grande número de genótipos em curto espaço de tempo (SOUZA et al., 2015; REYNOLDS et al., 2020). O que torna a fenotipagem de alto rendimento baseada na utilização de sensores proximais ou embarcados em veículos aéreos não tripulados (VANT's) uma estratégia para coletar informações de plantas de maneira rápida e de baixo custo (ARAUS et al., 2018).

Sensores espectrais podem capturar a reflectância do dossel em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético, abrangendo desde o visível (400 – 700 nm) ao infravermelho próximo (700 – 1200 nm), o que possibilita o cálculo de diferentes índices espectrais e a correlação dos mesmos com os caracteres agronômicos (JIN et al., 2020). Recentemente, Santana et al. (2022) evidenciaram que os índices de vegetação diferença normalizada do verde (GNDVI), diferença normalizada da borda do vermelho (NDRE) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), possibilitaram a caracterização de genótipos quanto ao ciclo e produtividade de grãos. Onde, cultivares com valores dos índices mais elevados até a maturidade, foram caracterizados como precoces e mais produtivos. Bai et al. (2022), ao estimarem a altura e produtividade de cultivares de soja com câmera RGB (red – green – blue, respectivamente) embarcada em VANT, constataram um R^2 de 0,50 com os índices de vegetação calculados.

Atualmente, a fenotipagem de linhagens de soja submetidas ao alagamento é realizada de forma subjetiva, com a aplicação de notas de acordo com o nível de resposta dos genótipos ao estresse, considerando sintomas visuais e a experiência do avaliador/melhorista, sendo uma metodologia que apresenta elevado tempo de coleta e erros de observação (FOYER et al., 2016; WU et al., 2017). Logo, o estudo fundamenta-se na hipótese de que técnicas do sensoriamento remoto podem avaliar com precisão o grau de tolerância de cultivares de soja submetidas ao alagamento, com a necessidade de padronizar uma metodologia que permita maior operacionalidade e segurança nas avaliações de campo. Desta forma, o objetivo da pesquisa é avaliar a correlação de dados coletados a campo com informações espectrais e aplicar um modelo de predição para estimar caracteres importantes em cultivares submetidas ao alagamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

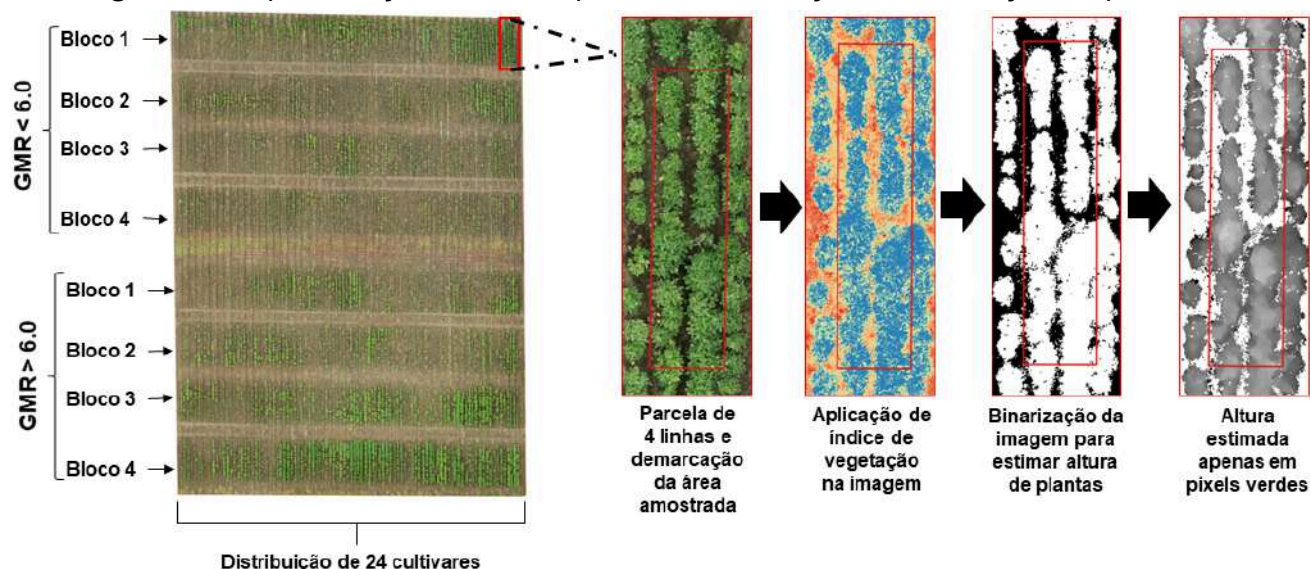
A pesquisa foi conduzida junto a Estação Experimental do Arroz do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA-IRGA), situado no município de Cachoeirinha/RS, (latitude 51° 11' 52" S, e longitude 29° 59' 55" O). O local possui solo classificado como Gleissolo Háplico Distrófico Típico e clima subtropical úmido (Cfa), com chuvas regulares ao longo do ano e temperatura média de 19 °C (KUINTCHNER; BURRIOL, 2001).

A semeadura dos genótipos foi realizada no dia 18 de novembro de 2022, com densidade de 36 plantas m², os quais já apresentavam tratamento de sementes industrial. A adubação foi constituída pela aplicação de 250 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo na base e 300 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio em cobertura parcelada em duas aplicações, com expectativa de rendimento de 4 Mg ha⁻¹.

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas por 4 linhas de cultivo espaçadas em 0,5

m e com 6 metros de comprimento totalizando 12 m². As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais, considerando 4 metros de comprimento em cada linha (Figura 1).

Figura 1 – Representação da área experimental e extração de informações espectrais.



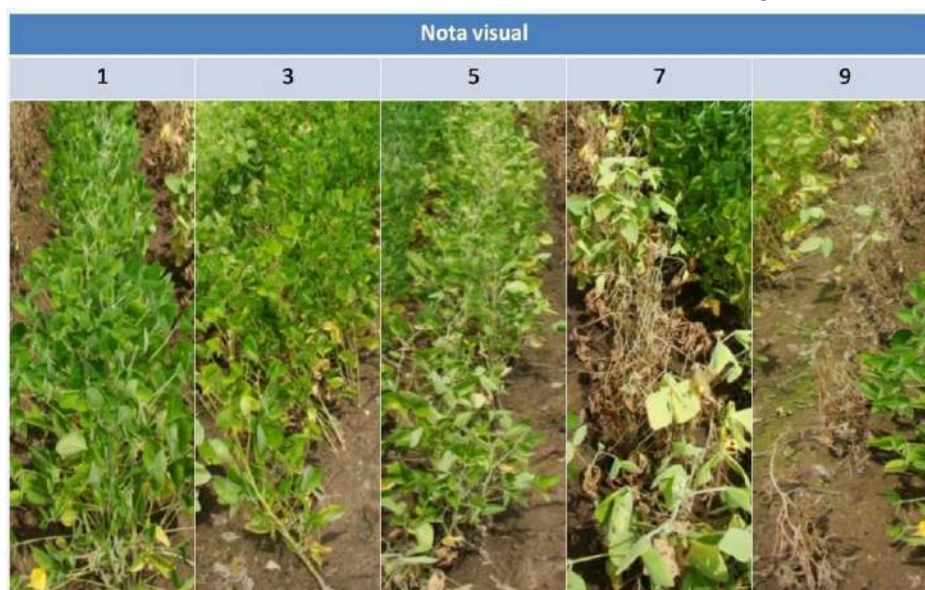
*GMR: Grupo de maturidade relativa. Fonte: Lima (2023)

Os tratamentos consistiram de 48 cultivares de soja de diferentes empresas e obtentores, os quais foram separados entre grupos de maturidade relativa (GMR) menor e maior que 6.0. Os genótipos encontram-se listados a seguir: **GMR < 6.0**: BRMX 57K58, BRMX 57I59, BRMX 57IX60, BRMX 57IX60, DM 54IX57, DM 56I59, DM 60IX64, NEO 510, NEO 560, NEO 560, NEO 580, NEO 590I2X, CZ15B70 IPRO, ST580 I2X, ST592 IPRO, ST 599 IPRO, P95Y02 IPRO, P95R40 IPRO, P95Y42 IPRO, P95R95 IPRO, P95Y95 IPRO, B5560CE, B5595CE, GH2258 IPRO, M5710 I2X, M5710 I2X, M5737 XT e **GMR > 6.0**: BRMX 64I61, DM 64I63, DM 66I68, DM 70I71, NEO 610, NEO 630, CZ16B17 IPRO, CZ26B12 I2X, ST611 IPRO, ST622 IPRO, ST TECIRGA6070RR, FTR3868, FTR4664, FTR2266, FTR3165, TMG 2264 IPRO, TMG 2165 IPRO, TMG 22X65 I2X, TMG 7061 PRO, BS IRGA 1642 IPRO, GH5993 IPRO, GH6433 I2X, M6130 I2X, M6100 XTD.

Os diferentes genótipos de soja foram submetidos ao estresse por alagamento no estágio fenológico do florescimento, com lâmina de água de 5 a 10 cm acima do nível do solo. A duração do estresse foi determinada pelo aparecimento dos sintomas de injúria nas cultivar mais sensíveis, sendo imediatamente drenada a área para a retirada do excesso hídrico. A avaliação da tolerância foi realizada pela aplicação de notas visuais (Figura 2), conforme escore de tolerância ao alagamento (ETA), baseado no critério de avaliação descrito por Nguyen et al. (2012), de acordo com a escala de tolerância. Onde 1: indica nenhuma injúria aparente e 9: morte de todas as plantas da parcela.

A obtenção de dados de imagens com VANT foi realizada logo após a aplicação das notas visuais, sendo utilizado a plataforma DJI Phantom 4 com câmera multispectral embarcada (P4M), contendo seis filtros individuais: composição RGB, (Red: 650 nm; Green: 560 nm; Blue: 450 nm; Red-edge: 730 nm e NIR: 840 nm). Com resolução de 1600 x 1300 pixels. As imagens foram coletadas no dia 24 de fevereiro de 2022 ao meio-dia, com uma altura de voo de 30 metros e sobreposição frontal e lateral de 70%. Adicionalmente, utilizou-se a plataforma DJI Phantom 4 advanced (P4A) com câmera RGB simples 1920 x 1080 pixels para a obtenção do modelo digital de superfície, com altura de voo de 20 metros e sobreposição frontal e lateral de 75%.

Figura 2 - Escala de notas visuais referente ao escore de tolerância ao alagamento.



O processamento de imagens foi realizado no software Agisoft Metashape para construção do ortomosaico, o qual foi associado a informações de pontos de controle de solo para correção geométrica das fotos. Para a extração de informações de reflectância das imagens utilizou-se o software Qgis (Figura 1), sendo calculados os índices de vegetação de interesse (Tabela 1).

Tabela 1 – Índices de vegetação calculados a partir da coleta de imagens.

Índice	Equação de cálculo ¹
Índice de vegetação por diferença normalizada	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$
Diferença normalizada da borda do vermelho	$NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE)$
Índice de vegetação ajustado ao solo	$SAVI = (1 + 0.5) * [(NIR - R) / (NIR + R + 0.5)]$
Excesso de verde	$IEXG = 2 * (G(R+G+B)) - (R/(R+G+B)) - (B/(R+G+B))$
Índice resistente à atmosfera na região visível	$VARI = (G - R) / (G + R + B)$
Índice de vegetação verde-vermelho	$GRVI = (G - R) / (G + R)$

*NIR: infravermelho próximo; RE: borda do vermelho; R: vermelho, G: verde, B: azul.

Concomitantemente a extração de informações espectrais, estimou-se a altura de plantas (Altura_E) pelo software Qgis a partir do ortomosaico da área experimental. Neste processo realizou-se a subtração do modelo digital de superfície (MDS) pelo modelo digital de terreno (MDT), gerando a camada raster da altura de plantas. A mesma foi dividida pela camada raster binária contendo pixels da vegetação (1) e pixels do terreno (0), resultando na altura estimada em metros (Figura 1). Adicionalmente, realizou-se a determinação da altura real em 10 plantas representativas de cada parcela (Altura_O), com auxílio de régua milimetrada, sendo a altura determinada desde a superfície do solo até a ponta do penúltimo trifólio.

Dados espectrais proximais foram coletados com espectroradiômetro equipado com um sensor ativo (Greenseeker, Trimble), o qual emite radiação em comprimento de onda no vermelho (660 nm) e infravermelho próximo (790 nm). Posteriormente, a reflectância do dossel é captada e o cálculo do NDVI médio de cada parcela realizado instantaneamente. Tal procedimento é utilizado como parâmetro de referência para dados de NDVI coletados em diferentes cultivos. A produtividade de grãos foi determinada pela colheita de duas linhas centrais de cada parcela em 5

metros de comprimento (5 m²), no estágio fenológico R8. Com as amostras submetidas a trilha, limpeza e pesagem em balança de precisão, com os valores ajustados para 13% de umidade.

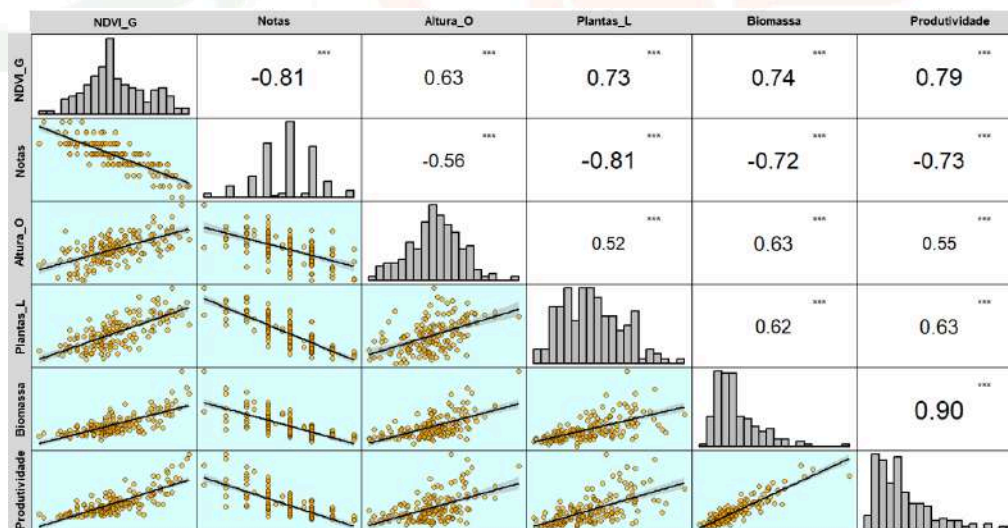
Os dados foram submetidos à análise de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias pelo teste Shapiro wilk e Breusch-Pagan, respectivamente. Posteriormente, após a análise dos pressupostos, os dados foram submetidos à análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) e aplicação de modelo linear para previsão de variáveis com o software R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de correlação entre o NDVI coletado com o Greenseeker (NDVI_G) e variáveis fitomorfológicas demonstrou correlação significativa forte para todas as combinações. Principalmente para notas (-0,81), biomassa (0,74) e produtividade de grãos (0,79), o que também foi observado para as demais correlações (Figura 3). Como já era esperado, a relação das notas de tolerância com os parâmetros avaliados foi sempre negativa, pois, quanto maior a nota recebida pela cultivar, menor foram os valores atribuídos ao índice e componentes de rendimento.

Sensores remotos proximais ou sensores portáteis também foram desenvolvidos para facilitar a coleta de informações espectrais no campo. Neste sentido, pesquisas já têm demonstrado o potencial do NDVI calculado a partir do sensor Greenseeker para estimativa da absorção de N, produção de biomassa e produtividade de grãos, com coeficientes de correlação acima de 0.70 (ALI et al., 2020; NAKANO et al., 2023). Similar aos dados obtidos no presente estudo.

Figura 3 – Correlação entre NDVI do Greenseeker e componentes do rendimento.



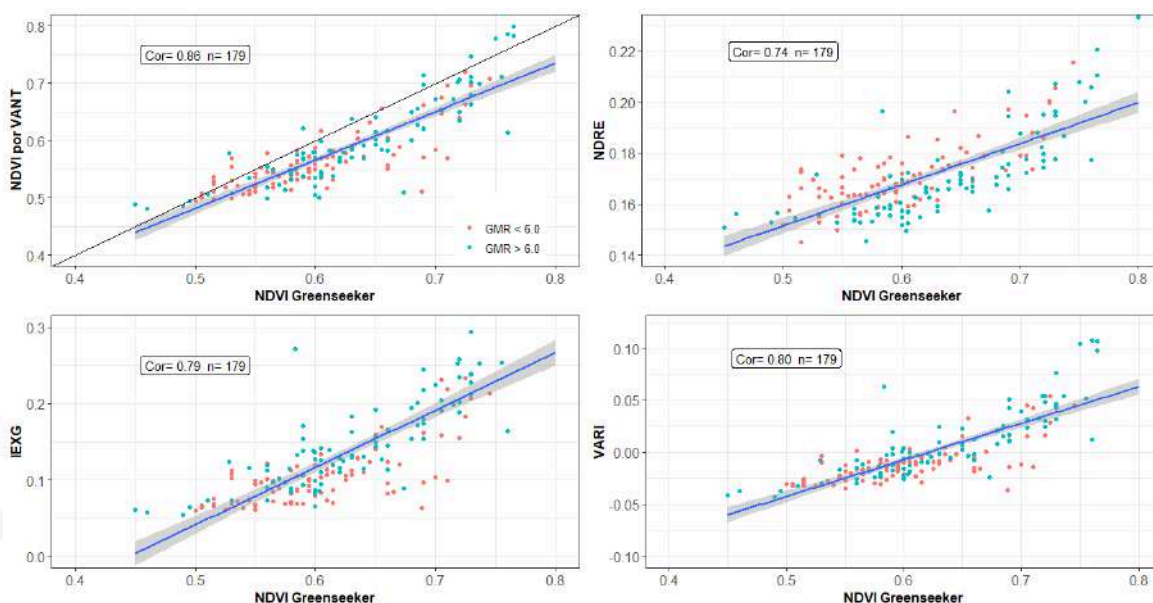
(***) indica o nível de significância da correlação $p < 0.05$. NDVI_G: índice obtido com Greenseeker; Altura_O: altura observada; Plantas_L: plantas com legumes na colheita. Fonte: Lima (2023).

Embora os índices coletados com veículos aéreos não tripulados (VANT's) também informem a reflectância do dossel, tais dados precisam ser comparados com sensores proximais já consolidados. Neste sentido, a análise de correlação entre os índices coletados pelo VANT: NDVI, NDRE, IEXG e VARI com o NDVI do Greenseeker (Figura 4), evidenciou valores elevados para todas as comparações 0.86, 0.74, 0.79 e 0.80, respectivamente. Tais dados corroboram com Walsh et al. (2022), os quais evidenciaram que tanto o NDVI do Greenseeker quanto o NDVI coletado por VANT é adequado para a predição de caracteres como biomassa, percentual de

proteína e produtividade de grãos na cultura do trigo. Com um coeficiente de determinação de 0.80 entre os índices. Recentemente, Rehman et al. (2022) avaliaram a sensibilidade de índices coletados com VANT e sensor proximal, quanto a capacidade de avaliar o teor nutricional e produtividade de plantas de arroz em diferentes locais. Tais autores destacaram que os índices NDRE e NDVI coletados com drones podem estimar com segurança tais parâmetros, com resultados similares aos dados coletados com Greenseeker.

A partir dos dados de índices de vegetação obtidos com VANT, aplicou-se um modelo de predição linear para as variáveis notas, plantas com legumes, altura de plantas e produtividade de grãos. As quais obtiveram um coeficiente de determinação pelo modelo de 0.64, 0.55, 0.49 e 0.91, respectivamente (Tabela 2).

Figura 4 – Análise de correlação entre índices coletados por VANT e NDVI Greenseeker.



Fonte: lima (2023).

Com relação a variável mais importante para a predição, observou-se que VARI e NDVI_V são fundamentais para a predição de notas e plantas com legumes (Tabela 2). Além disso, constatou-se que a altura estimada pode influenciar positivamente a predição da altura real das plantas de soja, seguido dos índices NDRE e VARI. Entretanto, o coeficiente de determinação foi baixo ($r^2 = 0,49$), o que pode estar associado a forma de medição no campo, pois, considera-se as plantas representativas de cada parcela e não todas as plantas presentes no intervalo de avaliação considerado pelo software.

A produtividade de grãos apresentou o maior coeficiente de determinação ($r^2 = 0,91$), com IEXG e NDRE sendo as variáveis mais importantes para a predição da produtividade. O que pode estar associado ao momento correto de avaliação, similaridade entre o tamanho da parcela e shapefile criado no software Qgis e qualidade do sensor utilizado. Neste sentido, Shafiee et al. (2023) ao testarem duas plataformas de VANT's, constataram que VANT com câmera multiespectral embarcada possui maior estabilidade na geração dos índices, obtendo-se menor influência do ângulo solar nas imagens capturadas e consequentemente melhor qualidade nos índices extraídos. O que também foi utilizado no presente estudo.

Ao contrário do que tem sido observado para o NDVI coletado por VANT em culturas gramíneas, o comportamento espectral da cultura da soja possui maior correlação com índices do visível e outros multiespectrais como EVI, SAVI e NDRE, os quais tendem a apresentar alta

herdabilidade entre genótipos e possibilidade de seleção de materiais a partir de informação espectral (BAI et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2023). Adicionalmente, a condição de alagamento das parcelas pode afetar consideravelmente a reflectância do dossel, o qual tende a apresentar baixa cobertura do solo e influência da água turbida nos sulcos de drenagem, com influência direta sobre a reflectância de comprimentos de ondas no visível (KANKE et al., 2016). Logo, NDRE e SAVI podem ser uma alternativa para coletar informações espectrais com menor influência da condição de solo.

Tabela 2 – Acurácia da estimativa de variáveis pelo método linear.

Variável predita	R ² algoritmo	p-valor	Variável mais importante
Notas tolerância	0,64	2,2e-16	VARI; NDVI_V
Plantas com legumes	0,55	2,2e-16	VARI; NDVI_V; SAVI
Altura de plantas	0,49	2,2e-16	AL_E; NDRE; VARI
Produtividade	0,91	2,2e-16	IEXG; NDRE

*VARI: Índice resistente à atmosfera na região visível; NDVI_V: Índice de vegetação por diferença normalizada coletado com VANT; SAVI: Índice de vegetação ajustado ao solo; NDRE: Diferença normalizada da borda do vermelho; IEXG: Índice excesso de verde.

4. CONCLUSÃO

Os resultados da presente pesquisa indicam que, o NDVI coletado a partir do sensor Greenseeker possui alta correlação com dados de campo em cultivares de soja submetidas ao alagamento. Principalmente para as variáveis notas de tolerância e produtividade. Além disso, verificou-se alta correlação entre os índices coletados por VANT: NDVI, NDRE, IEXG e VARI com o sensor Greenseeker, o que permite a utilização de informações espectrais coletadas com VANT para estimar parâmetros de campo.

Com relação ao modelo de predição linear aplicado, verificou-se um coeficiente de determinação elevado para as variáveis notas de tolerância (0,62) e produtividade de grãos (0,91), indicando a potencialidade do modelo em prever tais variáveis em cultivares de soja submetidas ao alagamento.

REFERÊNCIAS

- ALI, Mohamed Ali; IBRAHIM, Mohamed Sherif; SINGH, Bijay. Wheat grain yield and nitrogen uptake prediction using atLeaf and GreenSeeker portable optical sensors at jointing growth stage. **Information processing in Agriculture**, v. 7, p. 375 – 383, 2020.
- ARAUS, José Luis *et al.* Translating high-throughput phenotyping into genetic gain. **Trends in Plant Science**, v. 23, p. 451–466, 2018.
- BAI, Dong *et al.* Estimation of soybean yield parameters under lodging conditions using RGB information from unmanned aerial vehicles. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1- 19, 2022.
- FIORANI, Fabio; SCHURR, Ulrich. Future scenarios for plant phenotyping. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, p. 267–291, 2013.
- FOYER, Christine Helen *et al.* Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. **Nature Plants**, v. 2, p. 1–10, 2016.

JIN, Xiuliang *et al.* High-throughput estimation of crop traits: A review of ground and aerial phenotyping platforms. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine**, v. 9, p. 200–231, 2020.

JOHANNSEN, Wilhelm Ludvig. The genotype conception of heredity¹. **International Journal of Epidemiology**, v. 43, p. 989–1000, 2014.

KANKE, Yumiko *et al.* Evaluation of red and red-edge reflectance-based vegetation indices for rice biomass and grain yield prediction models in paddy fields. **Precision Agriculture**, v. 17, p. 507 – 530, 2016.

KUINCHTNER, Angélica; BURIOL, Galileo Adeli. Clima do estado do rio grande do sul segundo a classificação climática de köppen e thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v. 2, p. 171–182, 2001.

NAKANO, Hiroshi *et al.* Predicting rice grain yield using normalized difference vegetation index from UAV and GreenSeeker. **Crop and Environment**, v. 2, p. 59 – 65, 2023.

NGUYEN, Tu Van *et al.* Mapping of quantitative trait loci associated with resistance to *Phytophthora sojae* and flooding tolerance in soybean. **Crop Science**, v. 52, p. 2481–2493, 2012.

REHMAN, Telha *et al.* Comparative sensitivity of vegetation indices measured via proximal and aerial sensors for assessing n status and predicting grain yield in rice cropping systems. **Remote Sensing**, v. 14, p. 1 – 18, 2022.

REYNOLDS, Matthew. *et al.* Breeder friendly phenotyping. **Plant Science**, v. 295, p. 1–21, 2020.

SANTANA, Dthenifer Cordeiro *et al.* High-throughput phenotyping allows the selection of soybean genotypes for earliness and high grain yield. **Plant Methods**, v. 18, p. 1 -11, 2022.

SOUSA, Carlos Antonio Ferreira *et al.* Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 660–672, 2015.

WU, Chengjun *et al.* An effective field screening method for flood tolerance in soybean. **Plant Breeding**, v. 136, p. 710–719, 2017.

WALSH, Olga *et al.* Wheat yield and protein estimation with handheld- and UAV-based reflectance measurements. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 5, p. 1 -14, 2022.

YE, Heng *et al.* A major natural genetic variation associated with root system architecture and plasticity improves waterlogging tolerance and yield in soybean. **Plant Cell and Environment**, v. 41, p. 2169–2182, 2018.

MAPEAMENTO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS DE VERÃO UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO E APRENDIZADO DE MÁQUINA: CASO DE ESTUDO DO MUNICÍPIO DE NÃO-ME-TOQUE-RS

Summer crop rotation mapping utilizing remote sensing and machine learning: Case study for Não-Me-Toque-RS municipality

Luan Pierre Pott¹; Telmo Jorge Carneiro Amado²; Raí Augusto Schwalbert³; Geomar Mateus Corassa⁴; Christian Bredemeier⁵; Leonardo Mendes Bastos⁶; Lúcio de Paula Amaral⁷; Ignacio Antonio Ciampitti⁸;

¹ Grupo Don Mario, luanpierrepott@hotmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria, proftelmoamado@gmail.com

³ Grupo Don Mario, rai.schwalbert@hotmail.com

⁴ Cooperativa Central Gaúcha Ltd. – CCGL, geomarmateus@hotmail.com

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, bredemeier@ufrgs.br

⁶ University of Georgia, leonardombastos@gmail.com

⁷ Universidade Federal de Santa Maria, amaralufsm@gmail.com

⁸ Kansas State University, ciampitti@ksu.edu

RESUMO

A rotação de culturas tem seus benefícios nos sistemas de cultivo agrícola reportado com efeitos na supressão de doenças, insetos, plantas daninhas, atuação na melhoria da qualidade do solo e sustentabilidade. O mapeamento de rotação de culturas se torna uma ferramenta digital de análise de melhores estratégias de rotação, análise do efeito na produtividade de grãos, visando a sustentabilidade. Assim, o objetivo deste estudo foi realizar através de sensoriamento remoto e modelos de aprendizado de máquina a confecção de mapas de rotação de culturas agrícolas de verão dos últimos seis anos para o município de Não-Me-Toque no Rio Grande do Sul, Brasil. Foram coletados pontos georreferenciados das culturas de verão: soja e milho, as quais foram associados à imagens de Sentinel-2 e algoritmo de *random forest* para a classificação e mapeamento de cultivos agrícolas das safras 2017-2018 a 2022-2023. Com o estudo, identificou-se a mínima utilização de rotação de culturas nos campos agrícola onde as práticas mais comuns foram a de 1 ano de rotação e monocultivo em seis anos do estudo.

Palavras-chave: Agricultura digital. Sustentabilidade. Classificação de culturas.

ABSTRACT

Crop rotation has been reported with benefits in crop systems, being effective to suppress diseases, insects, weeds, improving soil quality and sustainability. Crop rotation mapping becomes a digital tool for analyzing better rotation strategies, analyzing the effect on grain productivity, aiming for sustainability. Thus, the objective of this study was to use remote sensing and machine learning models to create summer crop rotation maps of agricultural crops over the last six seasons for the municipality of Não-Me-Toque in Rio Grande do Sul, Brazil. Georeferenced points of summer crops were collected: soybeans and corn, which were associated with Sentinel-2 images and a random forest algorithm for the classification and mapping of agricultural crops from the 2017-2018 to 2022-2023 growing seasons. With the study, the minimum use of crop rotation was identified in agricultural fields where the most common practices were 1 year rotation and monoculture in six growing seasons of the study.

Keywords: Digital Agriculture. Sustainability. Crop classification.

1. INTRODUÇÃO

A rotação de culturas, uma prática agrícola fundamental, a qual abrange diversas culturas e regiões, é uma estratégia que sustenta a própria essência da agricultura sustentável. Contudo, no panorama agrícola contemporâneo, a rotação de culturas não é simplesmente uma tradição; evoluiu para uma ciência sofisticada, reforçada pela integração e possibilidade de planejamento simplificado com o uso da agricultura digital (KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCH, 2018; POTT et al., 2023).

Na sua essência, a rotação de culturas envolve a alteração deliberada e sistemática das culturas plantadas num determinado campo ao longo de estações sucessivas. Esta diversificação cíclica de espécies tem benefícios de longo alcance que ressoam tanto com as tradições do passado como com as exigências do presente (GARBELINI et al., 2022).

Os benefícios da rotação de culturas são múltiplos. Em primeiro lugar, serve como um escudo natural contra o ataque implacável de pragas e doenças que tendem a atingir espécies vegetais específicas. Ao mudar periodicamente as culturas, os agricultores podem perturbar os ciclos de vida destes organismos prejudiciais, reduzindo a necessidade de pesticidas químicos e promovendo um ecossistema de solo mais saudável e equilibrado. Além disso, a rotação de culturas promove a saúde do solo, diversificando as necessidades de nutrientes e promovendo a acumulação de matéria orgânica. Isto leva a uma maior fertilidade do solo e a uma melhor estrutura do solo, resultando num aumento da produtividade e numa gestão sustentável da terra (KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCH, 2018; BARBIERI et al., 2019; GARBELINI et al., 2022; SEIFERT; ROBERTS; LOBELL, 2017).

Na era da agricultura digital, a rotação de culturas encontrou novas dimensões através dos processos de mapeamento da rotação de culturas e da sua utilização na agricultura de precisão. O advento de tecnologias de ponta capacitou os agricultores a criar planejamentos complexos e baseados em dados dos seus campos. Atualmente, há plataformas digitais com ferramentas dinâmicas que permitem um planejamento e execução precisos de estratégias de rotação de culturas, sendo seu efeito relacionado com uma infinidade de fatores, incluindo a qualidade do solo, as condições climáticas, o rendimento das culturas e muito mais (SEIFERT; ROBERTS; LOBELL, 2017; COHEN et al., 2019; POTT et al., 2023).

Além do planejamento estratégico seja de forma convencional quanto informatizado em plataformas digitais, o advento do acesso de maior conjunto de imagens de sensoriamento remoto como do satélite Sentinel-2 e o aprendizado de máquina com algoritmos que possam ser computados em nuvem possibilitou avanços para geração de modelos de classificação de culturas agrícolas (JIN et al., 2019; WANG et al., 2020; POTT et al., 2021), previsão de produtividade das culturas (SCHWALBERT et al., 2020) e por fim a confecção de mapas de cultivos agregados para formação de mapas de padrões de rotação de culturas (WALDHOFF et al., 2017; ABALLEYRA & VERÓN, 2020; LIU et al., 2021; KLUGER; OWEN; LOBELL, 2022; POTT et al., 2023).

Com isso, o objetivo deste estudo foi realizar através de sensoriamento remoto e modelos de aprendizado de máquina a confecção de mapas de cultivos agrícolas de verão e com sua avaliação temporal possibilitar a geração do mapeamento da rotação de culturas agrícolas dos últimos seis anos para o município de Não-Me-Toque no Rio Grande do Sul, Brasil.

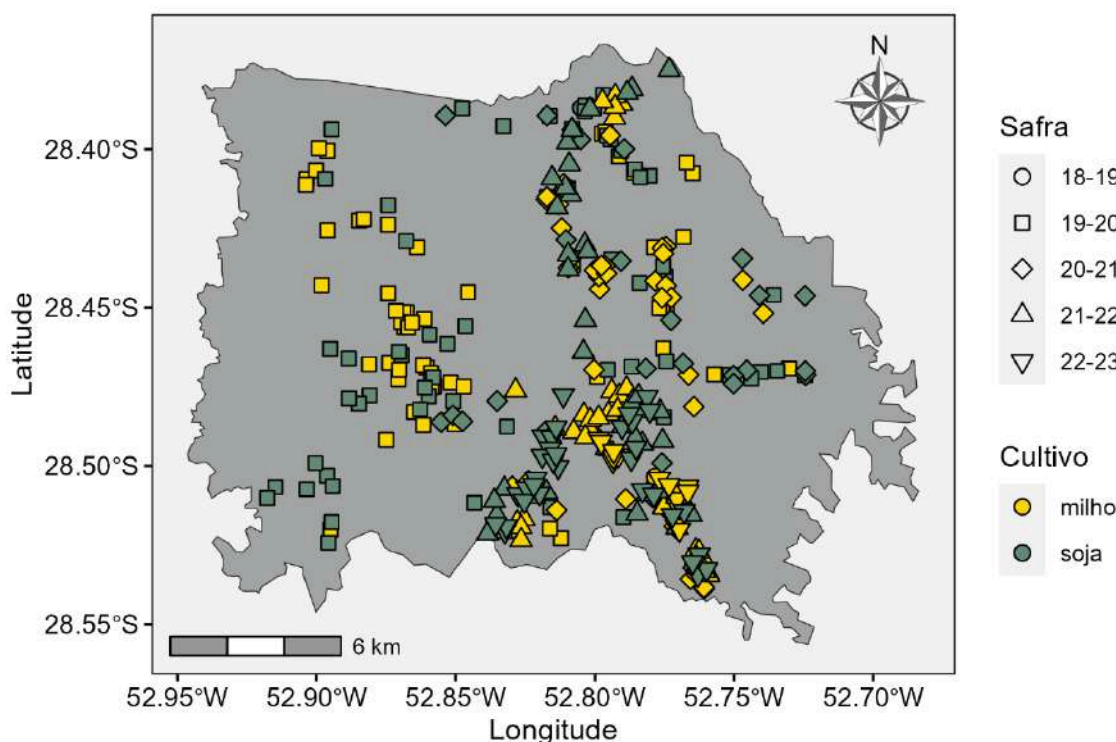
2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o município de Não-Me-Toque compreendido no estado do Rio Grande do Sul na região Sul do Brasil. Essa cidade se destaca em culturas de grãos de soja e

milho no período de verão, com ~22.350ha, e ~3.400ha, como média de área cultivada das últimas safras agrícolas, respectivamente (IBGE 2023).

Os dados de campos de soja e milho foram coletados ao longo de cinco safras agrícolas: 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022, e 2022-2023. Foram utilizados dois métodos de coleta de dados. O primeiro método foi através do acesso do catálogo de imagens do Google Street View, onde foram buscados campos de grãos nas vias rodoviárias do município, nas datas de cultivo das culturas de verão, sendo ao momento que encontrado cultura de soja ou milho, registrado a informação do tipo de cultura e das coordenadas do ponto de coleta. O segundo método de coleta de dados foi através de um dispositivo *Global Navigation Satellite System* (GNSS) com auxílio de um equipamento portátil, GPSmap 62®, o qual foi utilizado para coleta de informação do tipo de cultivo com suas coordenadas geográficas ao longo das rodovias do município de Não-Me-Toque. Posteriormente, foram capturados pontos de não-cultivo, como área urbana, floresta, corpos de água, vegetação nativa, e outras culturas minoritárias através do segundo método de coleta somado com imagens de alta resolução do Google Earth. Foi assegurado o mínimo de 100 pontos de lavouras para cada cultura e para cada safra agrícola, somando 1500 pontos de dados para as 3 classes (soja, milho e não-cultivo) nos 5 anos distribuídos igualmente entre as classes. Os pontos de culturas coletados podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 - Imagem demonstrando a distribuição dos pontos de cultivo de soja e milho



Legenda: Composição dos pontos de coleta de cultura de soja e milho no município de Não-Me-Toque-RS.

Fonte: Autor

A partir dos dados de campos foram combinados dados de sensoriamento remoto do Sentinel-2 para compor as variáveis preditoras. Foram utilizadas as bandas espectrais: Red (vermelho), RedEdge (borda do vermelho), NIR (infravermelho próximo), SWIR 1 (infravermelho

de ondas curtas 1), SWIR 2 (infravermelho de ondas curtas 2), e os índices de vegetação NDRE (*Normalized Difference Red Edge*) e GCVI (*Green Chlorophyll Vegetation Index*). Como processo de pré-processamento foram calculadas as regressões harmônicas já reportadas em estudos anteriores (WANG; AZZARI; LOBELL, 2019; DEINES et al., 2020; DADO et al., 2020; POTT et al., 2021) das bandas espectrais e dos índices de vegetação do período de 1º de julho à 1º de maio de cada ano e assim extraídos os coeficientes para serem utilizados como valores de entrada no modelo de classificação.

Com as variáveis preditoras vinculadas com sua respectiva informação de cultura da soja, cultura do milho ou não-cultivo foi gerado um modelo de aprendizado de máquina do tipo classificação com o algoritmo *random forest* com 1000 número de árvores (*trees* = 1000), e 6 o número de variáveis por divisão (*mtry* = 6). O banco de dados foi dividido em 70% para treinamento e 30% para teste. Foram utilizados validação cruzada (*k-fold*) em número de 5 para a validação dos parâmetros em treinamento e teste. No conjunto de teste a acurácia global foi de 0.95. As análises estatísticas foram geradas com a linguagem R (R CORE TEAM, 2023). O modelo proposto foi implementado na plataforma do Google Earth Engine (GEE) (GORELICK et al., 2017) para as safras agrícolas de 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022, e 2022-2023. O modelo de classificação utilizado no estudo é derivado de uma simplificação do modelo de classificação de culturas agrícolas para o estado do Rio Grande do Sul proposto por Pott et al. (2021), o qual utiliza fusão de dados de sensoriamento remoto e modelo digital de elevação para compor as variáveis do modelo.

Compostos os mapas de classificação de culturas para as seis safras agrícolas, foram extraídos a nível de pixel da resolução do Sentinel-2 (10m) a informação das culturas agrícolas de cada ano para compor o banco de dados geoespacial. Este método é uma metodologia mais intensa de computação com o método de mapeamento de rotação de culturas para o estado do Rio Grande do Sul proposto por Pott et al. (2023), o qual utiliza o banco de dados de áreas consolidados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) (SICAR, 2023) como polígono do campo e utilização da geometria e área do polígono para compor as análises.

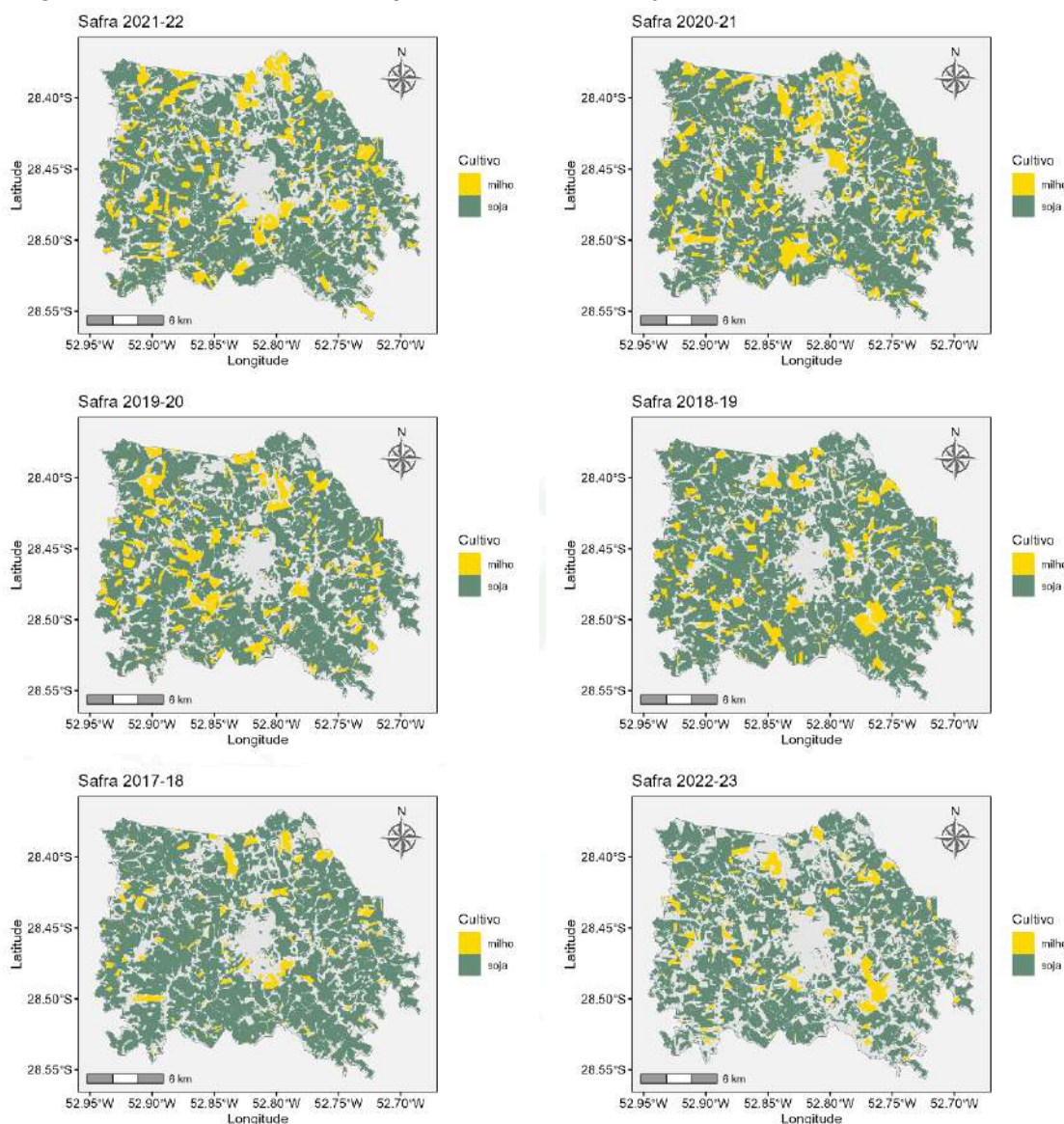
O banco de dados geoespacial a nível de pixel com seu respectivo cultivo para cada um dos anos foi utilizado para compor as respectivas categorias de rotação de culturas: Monocultura (monocultivo de soja ou de milho), 1 ano de rotação (1 ano de um cultivo e 5 de outro), 2 anos de rotação (2 anos de um cultivo e 4 de outro), 3 anos de rotação (3 anos de um cultivo e 3 de outro sem rotação para o ano subsequente), e Rotação intensa (3 anos de um cultivo e 3 de outro com rotação para o ano subsequente). As composições de categorias de rotação de culturas foram baseadas no estudo de Pott et al. (2023), o qual utiliza quatro categorias e quatro safras agrícolas avaliadas.

Foram gerados mapas de classificação das culturas agrícolas para as safras de 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022, e 2022-2023, bem como o mapa de rotação de culturas agrícolas considerando as seis safras agrícolas. A partir da confecção dos mapas e avaliação a nível de pixel foi possível gerar o percentual de área de rotação de culturas para o município de Não-Me-Toque.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de classificação de culturas agrícolas utilizado gerou mapas de cultivos de soja e milho de alta resolução para as safras agrícolas de 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022, e 2022-2023, delineando bem os limites de campo como segue Figura 2.

Figura 2 - Mapas de classificação de cultivos de soja e milho.



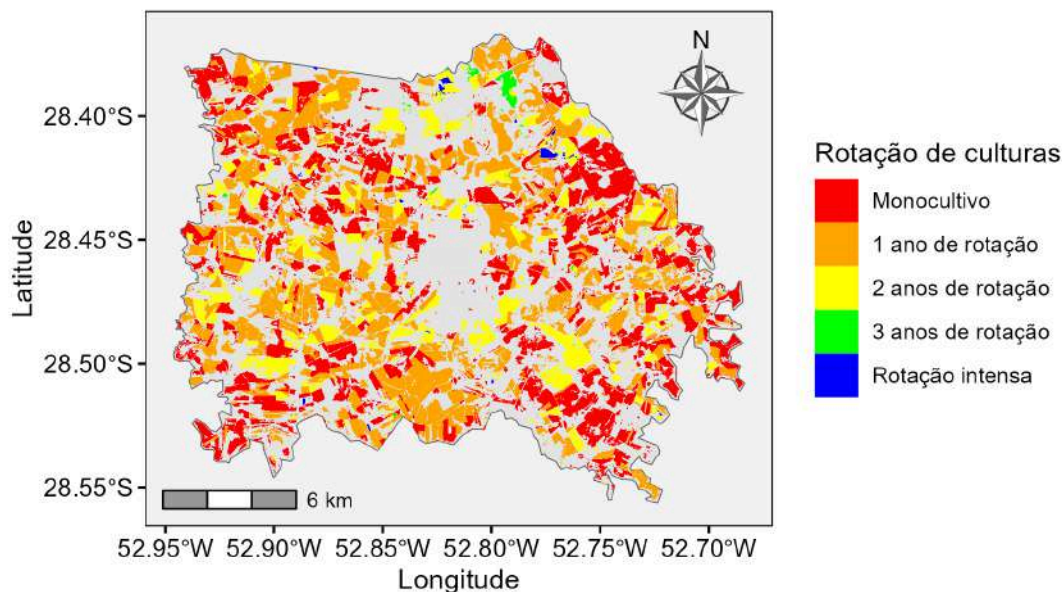
Legenda: mapas de classificação de cultivos de soja e milho no município de Não-Me-Toque-RS para as safras agrícola 2017-18 a 2022-23.

Fonte: Autor

Com a classificação e mapeamento das culturas agrícolas, além de obter informações importantes intrínsecas à esse produto, como atualização de área cultivada nas diferentes regiões e diferenciação da área de cultivo ao longo dos anos, a geração do mapeamento de culturas agrícolas possibilita também o monitoramento dos cultivos agrícolas ao longo do ciclo em plataformas digitais, previsão de safra (DADO et al., 2020; DEINES et al., 2020), previsão de produção agrícola (SCHWALBERT et al., 2020), e mapeamento de rotação de culturas (POTT et al. 2023).

A confecção das categorias de rotação de cultivos a partir da sobreposição dos mapas de cultivos ao longo dos anos nos trouxe a possibilidade de visualização do mapa de rotação de cultivos de verão como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Mapas de rotação de culturas agrícolas



Legenda: mapa de rotação de culturas agrícolas (6 safras agrícolas) no município de Não-Me-Toque-RS.

Fonte: Autor

Pode-se verificar a distribuição dos padrões de rotação de culturas ao longo do município, e novamente sendo delineados muito bem os campos de produção corroborando com a acurácia do modelo de classificação de culturas de 0.95. Verifica-se maiores regiões das categorias de rotação: 1 ano de rotação e Monocultivo (laranja e vermelho, respectivamente) indicando uma baixa utilização da prática de manejo de rotação de culturas. Na Tabela 1 é demonstrado os valores percentuais de cada uma das categorias de rotação o qual pode-se destacar a soma de 1 ano de rotação e Monocultivo com ~83% das áreas agrícolas de Não-Me-Toque. Posteriormente se tem 2 anos de rotação com ~16%, e finalmente 3 anos de rotação e rotação intensa com apenas ~1% das áreas agrícolas.

Tabela 1 – Percentual de área sob rotação de culturas.

Rotação de culturas	Área no mapa
Monocultivo	37,87%
1 ano de rotação	44,76%
2 anos de rotação	16,34%
3 anos de rotação	0,64%
Rotação intensa	0,39%

Legenda: percentual de rotação de culturas em seis safras agrícolas em Não-Me-Toque-RS.

Fonte: Autor

A rotação de cultura por produtor pode ser motivada por características regionais, práticas de manejos, cultura do produtor, aspectos econômicos e sociais (STEIN & STEINMANN, 2018).

O mapeamento de rotação de culturas tem sido recentemente reportado em trabalho para os países de Alemanha (WALDHOFF et al., 2017), Argentina (ABELLEYRA & VERÓN, 2020), China (LIU et al., 2021), e Estados Unidos (KLUGER; OWEN; LOBELL, 2022), sendo reconhecidamente útil para geração de modelagem de culturas agrícolas em escala regional (WALDHOFF et al., 2017), indicação de práticas de conservação e regeneração da agricultura (KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCHE, 2018), e no estabelecimento de práticas de manejo com intuito de intensificar os sistemas agrícolas (LIN & HUANG, 2019).

Mesmo sendo a rotação de culturas reportada na literatura com seus benefícios na produtividade de grãos dependentes de condições ambientais para as culturas agrícolas de soja em 4-25% (NAFZINGER, 2007; CROOKSTON et al., 1991; EDWARDS; THURLOW; EASON, 1988; SEIFERT; ROBERTS; LOBELL, 2017; COHEN et al. 2019), milho em 1-7,8% (ERICKSON, 2008; SEIFERT; ROBERTS; LOBELL, 2017; COHEN et al. 2019), e arroz em 26% (RIBAS et al., 2021), não vem sendo observado sua utilização nos campos agrícolas de Não-Me-Toque em sua grande maioria.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo trouxe uma metodologia de construção de mapas de cultivos agrícolas e posteriormente a confecção de mapas de rotação de culturas a partir desta informação. O estudo de caso para o mapeamento de rotação de culturas para o município de Não-Me-Toque-RS identificou a mínima utilização de rotação de culturas nos campos agrícola onde as práticas mais comuns foram a de 1 ano de rotação e monocultivo em seis anos do estudo.

REFERÊNCIAS

- ABELLEYRA, D., & VERÓN, S. Crop rotations in the Rolling Pampas: Characterization, spatial pattern and its potential controls. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100320, 2020.
- BARBIERI, P. et al. Changes in crop rotations would impact food production in an organically farmed world. **Nature Sustainability**, v.2, n.5, p.378–385, 2019.
- COHEN, A.A.B. et al. Rotation Effects on Corn and Soybean Yield Inferred from Satellite and Field-level Data. **Agronomy Journal**, v.111, n. 6, p. 2940–2948, 2019.
- CROOKSTON, R. K. et al. Rotational Cropping Sequence Affects Yield of Corn and Soybean. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 1, p.108–113, 1991.
- DADO, W. T. et al. High-resolution soybean yield mapping across the US Midwest using subfield harvester data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 21, p. 3471, 2020.
- DEINES, J. M. et al. A million kernels of truth: Insights into scalable satellite maize yield mapping and yield gap analysis from an extensive ground dataset in the US Corn Belt. **Remote Sensing of Environment**, v. 253, p. 112174, 2020.
- EDWARDS, J. H., THURLOW, D. L., & EASON, J. T. (1988). Influence of Tillage and Crop Rotation on Yields of Corn, Soybean, and Wheat. **Agronomy Journal**, v. 80, n. 1, p. 76–80, 1988.

ERICKSON B. (2008). Corn/soybean rotation literature summary. Purdue University, West Lafayette, IN.

GARBELINI, L. G. et al. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. **European Journal of Agronomy**, v.137, 126528, 2022.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias. Disponível em: Ibge.gov.br website: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 19 Set. 2023.

JIN, Z. et al. Smallholder maize area and yield mapping at national scales with Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, v. 228, p. 115–128, 2019.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. Global spread of Conservation Agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, v. 76, p. 1-23, 2018.

KLUGER, D. M.; OWEN, A. B.; LOBELL, D. B. Combining randomized field experiments with observational satellite data to assess the benefits of crop rotations on yields. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 4, p. 044066, 2022.

LIN, M. & HUANG, Q. Exploring the relationship between agricultural intensification and changes in cropland areas in the US. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 274, p. 33–40, 2019.

LIU, Y. et al. Mapping crop rotation by using deeply synergistic optical and SAR time series. **Remote Sensing**, v. 13, n. 20, p. 4160, 2021.

NAFZIGER E. 2007. What will replace the corn-soybean rotation? 2007 Indiana CCA Conference Proceedings, Indianapolis, IN. 18– 19 Dec. 2007. Purdue University. https://www.agry.purdue.edu/cca/2007/2007/Proceedings/Emerson%20Nafziger-CCA%20proceedings_KLS.pdf. Acesso em: 10 Sep. 2023.

POTT, L. P. et al. Satellite-based data fusion crop type classification and mapping in Rio Grande do Sul, Brazil. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 176, p. 196–210, 2021.

POTT, L. P. et al. Mapping crop rotation by satellite-based data fusion in Southern Brazil. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 211, 107958, 2023.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2023.

RIBAS, G. G. et al. Assessing yield and economic impact of introducing soybean to the lowland rice system in southern Brazil. **Agricultural Systems**, v. 188, p. 103036, 2021.

SCHWALBERT, R. A. et al. Satellite-based soybean yield forecast: Integrating machine learning and weather data for improving crop yield prediction in southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 284, p. 107886, 2020.

SEIFERT, C. A.; ROBERTS, M. J.; LOBELL, D. B. Continuous corn and soybean yield penalties across hundreds of thousands of fields. **Agronomy Journal**, v.109, n. 2, p. 541–548, 2017.

SICAR, Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. 2023. Disponível em: Car.gov.br website: <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em: 10 Sep. 2023.

STEIN, S., & STEINMANN, H.-H. Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. **European Journal of Agronomy**, 92, 30–40, 2018.

WALDHOFF, G.; LUSSEM, U.; BARETH, G. Multi-Data Approach for remote sensing-based regional crop rotation mapping: A case study for the Rur catchment, Germany. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 61, p. 55–69, 2017.

WANG, S. et al. Mapping twenty years of corn and soybean across the US Midwest using the Landsat archive. **Scientific Data**, v.7, n.1, 2020.

WANG, S.; AZZARI, G.; LOBELL, D. B. Crop type mapping without field-level labels: Random forest transfer and unsupervised clustering techniques. **Remote Sensing of Environment**, v. 222, p. 303–317, 2019.



VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E SUA CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA (*Glycine max* L.)

*Spatial variability of soil physicochemical attributes and their correlation with soybean (*Glycine max* L.) grain yield*

Giovanna Gelak Spinelli¹; Breno Bevilaqua Heinz²; Murilo Vargas Lunardi³; Lorenzo Lara Ribeiro⁴; Anderson Luiz Fagan⁵; José Cardoso Sobrinho⁶; Lúcio de Paula Amaral⁷; Alessandro Carvalho Miola⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima n°1000 - Camobi, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, e-mail: ¹giovanna_spi97@hotmail.com; ²breno.bevilaqua1991@gmail.com; ³murilolunardi7@gmail.com; ⁴lorenzolararibeiro@outlook.com; ⁵fagan.agro@gmail.com; ⁶jcardoso@politecnico.ufsm.br; ⁷lucio.amaral@ufsm.br; ⁸alessandro.miola@ufsm.br

RESUMO

A geoestatística e suas ferramentas buscam avaliar a variabilidade espacial-temporal de atributos de solo em áreas agrícolas, resultando na geração de modelos e estimativas de valores para locais não amostrados. O objetivo do trabalho é avaliar a correlação de atributos de fertilidade do solo com a produtividade de soja (*Glycine max* L. Merrill), para uma área agrícola situada em São Sepé-RS. Para análise de fertilidade do solo, foi realizada uma amostragem em grid de 1 ha, ou seja, a coleta de 1 ponto a cada hectare, através do uso de sonda amostradora, na profundidade de 0 a 15 cm. A correlação dos atributos de solo e da produtividade foram analisados no software RStudio, mediante análise de correlação, a 10% de significância, para cada um dos atributos, em relação à produtividade. Posteriormente, os atributos que demonstraram correlação significativa com a produtividade passaram pelo processo geoestatístico de interpolação por krigagem ordinária, com prévio ajuste dos seus semivariogramas. Os atributos de solo que apresentaram maior correlação com a produtividade foram pH, CTC, saturação de bases e teores de Al, Ca e Mg.

Palavras-chave: Geoestatística. Semivariograma. Krigagem ordinária.

ABSTRACT

Geostatistics and its tools aim to assess the spatial-temporal variability of soil attributes in agricultural areas, resulting in the generation of models and estimates for unsampled locations. The objective of this study is to evaluate the correlation between soil fertility attributes and soybean (*Glycine max* L. Merrill) productivity in an agricultural area located in São Sepé-RS. For soil fertility analysis, a grid sampling was conducted at a 1-hectare resolution, meaning one point was sampled per hectare, using a soil sampling probe, at a depth of 0 to 15 cm. The correlation between soil attributes and productivity was analyzed in the RStudio software, using a significance level of 10%, for each of the attributes in relation to productivity. Subsequently, the soil attributes that showed significant correlation with productivity underwent the geostatistical process of ordinary kriging, with prior adjustment of their semivariograms. The soil attributes that exhibited the highest correlation with productivity were pH, CEC, base saturation, and the levels of Al, Ca, and Mg.

Keywords: Geostatistics. Semivariogram. Ordinary Kriging.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão tem como base a existência de variabilidade espacial e temporal de atributos químicos, físicos e biológicos do solo em áreas agrícolas. Segundo Amado & Santi (2007), esta eficiente prática tem respeitado a variabilidade espacial dos atributos, considerando as diferentes características de solo, planta e ambiente, associados a um sistema produtivo economicamente viável e sustentável.

Neste sentido, a geoestatística surge como uma ciência capaz de auxiliar no entendimento desta variabilidade e, desta forma, auxiliar na otimização de práticas e tomadas de decisões em uma lavoura. A geoestatística estuda os dados que são coletados a campo de forma georreferenciada e realiza a análise destes, possibilitando a geração de diversos produtos, tais como mapas, demonstrando a variabilidade e comportamento de atributos de fertilidade do solo em uma área agrícola. Além disso, a geoestatística possibilita a estimativa de dados em locais onde não foram realizadas medições dos parâmetros de estudo, desde que haja quantidade suficiente de dados para realizar a interpolação.

A técnica de interpolação trata-se de uma metodologia matemática amplamente utilizada em diversas áreas do conhecimento e, para sua realização, se faz necessária a modelagem da variação espacial de atributos do solo, através dos semivariogramas gerados, a partir dos dados coletados. A importância da modelagem tem sido evidenciada em trabalhos científicos, de modo que esta pode melhorar o aproveitamento de recursos, auxiliando na gestão rural, diminuindo custos e aumentando a eficiência da nossa agricultura (SOUZA et al., 2014).

A dependência espacial dos atributos do solo é um conceito essencial na geoestatística, por mostrar que os valores dos atributos avaliados estão relacionados ao longo do espaço. Esta pode ser descrita através da utilização do semivariograma, que mede a variabilidade de um atributo, relacionando isto com a posição dele, considerando a distância entre as amostras. Ele descreve como a diferença entre os valores de duas observações varia à medida que a distância entre essas observações aumenta. Para Seidel & Oliveira (2014), o semivariograma é a principal ferramenta utilizada na geoestatística para a descrição da dependência espacial. Em relação à metodologia de interpolação, a krigagem ordinária tem sido a mais difundida na prática.

Os solos brasileiros apresentam naturalmente alto teor de alumínio, pH e saturação de bases baixas. Conforme Fiorin & Silva (2013), a presença de alumínio, pH ácido e baixa saturação por bases ocasionam menores produtividades e distúrbios fisiológicos nas culturas agrícolas. Devido à toxicidade causada pela presença do alumínio no sistema radicular, este acaba atrofiando-se, resultando numa menor área, diminuindo a absorção de água e nutrientes, resultando em menores produtividades (FREIRE, 2001).

Tendo isso em vista, o presente trabalho propõe analisar a correlação de diversos atributos químicos de solo com a produtividade, através de uma análise de correlação, prevendo a geração de mapas interpolados daqueles atributos que demonstraram correlação significativa com a produtividade de uma lavoura de soja (*Glycine max* L. Merrill), ao nível de 10% de significância.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O referido trabalho foi conduzido no distrito de Mata Grande, localizado próximo ao município de São Sepé – RS, latitude 30°19'14.44"S e longitude 53°44'43.03"W. O solo da região é classificado, segundo a classificação de Köppen, como Neossolo Litólico eutrófico (Alvares et al., 2013). Para execução do trabalho, primeiramente foi realizada uma coleta de solo, para posterior análise química dos parâmetros de fertilidade do solo. A coleta dos dados se deu em um período anterior ao início do manejo cultural para implantação da cultura, especificamente no dia 19/06/2020. Para a coleta dessas amostras, foi utilizado um quadriciclo com equipamento automático de coleta de solo, denominado WINTEX 1000. Este amostrador é um equipamento automático para realização de coleta de solo até a profundidade de 30 cm.

As amostras de solo foram coletadas por uma sonda amostradora de solo e não com um trado. Isso garante uma amostra completamente homogênea. Para a coleta de solo foi utilizado um grid de aproximadamente 1 ha e profundidade amostral de 0-15 cm.

A área de estudo tinha 66,62 ha (Figura 1) e a grade amostral utilizada foi composta por 72 pontos georreferenciados, dos quais foram retiradas as amostras de solo. Essas coletas levaram em consideração a utilização de 8 a 12 repetições por amostra coletada, para maior homogeneidade e representatividade de cada ponto. Estas repetições foram armazenadas em um saco plástico, formando, ao final, uma amostra por ponto de coleta.

Figura 1 – Área de estudo.



Fonte: Autores (2023).

Após a coleta, essas amostras foram enviadas para o laboratório, para que fossem avaliados alguns atributos físicos e químicos do solo, sendo eles: argila, alumínio, saturação de bases, pH, cálcio, CTC, cobre, potássio, magnésio, matéria orgânica, fósforo, enxofre e zinco. Além dos atributos do solo, também foi avaliada a produtividade da cultura da soja cultivada na área delimitada, através de colhedoras equipadas com sensores e receptores GNSS, para armazenamento de dados a cada 2 metros, aproximadamente. A colheita foi realizada no mês de abril de 2021.

Para determinação da produtividade nos pontos onde foram coletadas as amostras de solo, foi utilizado o software QGIS. Para uma melhor organização e avaliação dos dados, foi utilizada a ferramenta “polígonos de Voronoi” nos dados de produtividade. O princípio do Diagrama de Voronoi é de que, considerando que em um plano, existem pontos que estão mais próximos de uma fonte geradora do que de outra fonte, o resultado é um polígono, de cujas distâncias entre a fonte e ponto, são as menores possíveis (MOURA, 2003). A partir dos polígonos de Voronoi gerados e com a utilização da ferramenta de inserção, foi possível transcrever, para uma única camada, os valores de fertilidade do solo e produtividade em cada ponto do grid amostral.

Os dados dos atributos do solo e produtividade de grãos foram analisados no software RStudio, onde foi realizada uma análise de correlação entre cada atributo do solo com a produtividade. Para identificação de valores discrepantes no banco de dados, foi utilizada a metodologia proposta por Libardi et al. (1996), calculando-se a dispersão interquartil (DQ), considerando o primeiro (Q1) e o terceiro (Q3) quartil. O limite superior foi definido por $(Q3 + 1,5 \times DQ)$ e o inferior por $(Q1 - 1,5 \times DQ)$. A normalidade foi testada pelo teste Shapiro-Wilk's ($p < 0,05$).

O índice de dependência espacial dos atributos (IDE) foi determinado e classificado, segundo Zimback (2001), utilizando-se a Equação (1).

$$IDE = (C / C_0 + C) \times 100$$

Equação (1)

em que: C = valor da variância espacial; C_0 = valor do efeito pepita, assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE < 25\%$, moderada para $25\% \leq IDE \leq 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$.

Após os dados organizados, a geração de mapas se deu pelo software GS+. Para cada atributo que apresentou correlação significativa com a produtividade, foi realizado um mapa de interpolação por krigagem, com o prévio ajuste do semivariograma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 14 atributos de solo analisados, apenas no pH observou-se uma amostra com valor considerado *outlier*, que interferiu negativamente no ajuste do semivariograma. Então este foi excluído, na realização da análise geoestatística, para evitar influência no resultado. Os coeficientes de variação dos dados analisados apresentaram grande amplitude, de 7,49 a 131,29%, sendo estes valores observados para pH e alumínio, respectivamente. Foram observados valores de CV classificados como “baixo” para o pH, enquanto argila, matéria orgânica, saturação de bases, enxofre e produtividade apresentaram CV classificado como “médio”. Foram observados valores de CV classificados como “alto” para CTC, cobre e zinco, e “muito” alto para fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio. A análise estatística descritiva completa pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Estatística descritiva de atributos físico-químicos do solo na safra 2020-2021.

Variável	Média	Desvio padrão	Variância da amostra	Curtos e	Assimetria	Mínimo	Máximo	CV (%)
Al (cmolc/dm ³)	0,28	0,36	0,13	10,68	2,74	0,00	2,20	131,30
SB (%)	70,90	13,58	184,54	0,15	-0,78	35,40	92,80	19,16
Ca (cmolc/dm ³)	6,77	3,04	9,22	2,47	1,47	3,00	18,30	44,85
CTC (cmolc/dm ³)	13,45	3,87	14,95	2,53	1,46	8,00	27,60	28,76
Cu (mg/dm ³)	4,24	1,25	1,57	-0,74	0,16	2,10	7,20	29,53
K (mg/dm ³)	119,43	62,49	3904,95	1,48	1,25	34,30	324,20	52,32
Mg (cmolc/dm ³)	2,73	1,33	1,76	1,28	1,15	0,90	7,00	48,71
MOS (%)	2,73	0,56	0,31	0,43	0,69	1,70	4,20	20,38
P (mg/dm ³)	4,52	3,51	12,33	3,09	1,74	0,90	17,80	77,70
pH	5,33	0,40	0,16	-0,64	-0,25	4,43	6,09	7,49
S (mg/dm ³)	17,41	2,17	4,70	-0,81	-0,42	12,90	20,90	12,45
Argila (%)	17,41	2,17	4,70	-0,81	-0,42	12,90	20,90	12,45
Zn (mg/dm ³)	3,21	0,96	0,92	0,29	0,81	1,70	6,00	29,91
Produtividade (sc/ha)	59,01	9,85	96,98	-0,02	0,14	38,37	87,59	16,69

Legenda: SB = Saturação de bases, MOS = Matéria orgânica do solo, CV = Coeficiente de variação.

Fonte: Autores 2023.

A partir da análise de correlação realizada para cada um dos atributos de solo e a produtividade, em cada ponto de coleta, observou-se correlação significativa, ao nível de 10% de significância, para os seguintes atributos: pH, CTC, saturação de bases, cálcio, magnésio e alumínio, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de correlação entre os atributos de solo e a produtividade.

Variável	p-value	Tc	T-tabelado	Interpretação
Al (cmolc/dm ³)	0,09	-1,70	1,99	**
SB (%)	0,10	1,68	1,99	**
Ca (cmolc/dm ³)	0,07	1,85	1,99	**
CTC (cmolc/dm ³)	0,09	1,70	1,99	**
Cu (mg/dm ³)	0,19	1,32	1,99	ns
K (mg/dm ³)	1,00	0,01	1,99	ns
Mg (cmolc/dm ³)	0,03	2,16	1,99	**
MOS (%)	0,31	1,01	1,99	ns
P (mg/dm ³)	0,38	-0,88	1,99	ns
pH	0,04	2,09	1,99	**
S (mg/dm ³)	0,44	0,77	1,99	ns
Argila (%)	0,69	0,40	1,99	ns
Zn (mg/dm ³)	0,23	1,21	1,99	ns

Legenda: SB = Saturação de bases, Tc = T calculado, ** = significativo a 10%

Fonte: Autores 2023.

Na correlação linear de Pearson entre os atributos de solo com a produtividade da área sob cultivo de soja, foram encontrados coeficientes baixos para todas as variáveis, sendo o teor de alumínio o único parâmetro de correlação negativa. Autores como Megda et al. (2008) e Rosa Filho et al. (2009), corroboram com os resultados encontrados, onde observaram correlações significativas, porém baixas entre os atributos com a produtividade de leguminosas (soja e feijão). Assim, explica-se a complexidade destas associações específicas de atributos de solo e o rendimento das culturas na agricultura de precisão.

Kitamura et al. (2007) explanam tal entendimento, onde citam que a baixa correlação entre determinados parâmetros não impossibilita a obtenção de correlação espacial significativa. Há uma série de outros fatores bióticos e abióticos que podem influenciar nestes valores, como, por exemplo, correlações positivas da geografia da área, sobretudo relevo e altitude (SOUZA et al., 2010). Com isso, a partir dos dados dos atributos físico-químicos do solo coletados que apresentaram correlação significativa com a produtividade, foram realizadas metodologias geoestatísticas para ajustes de semivariogramas e posterior interpolação por krigagem dos dados. Os valores obtidos nos semivariogramas de cada atributo podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Tabela de parâmetros de semivariograma.

Variável	Modelo	C ₀	variância estrutural	IDE (%)	Alcance	CD	SQR
Al (cmolc/dm ³)	Gaussiano	0,00	0,14	99,9	178,40	0,79	0,00
SB (%)	Esférico	71,10	205,70	65,4	711,00	0,50	30033,00
Ca (cmolc/dm ³)	Gaussiano	1,42	10,21	86,1	443,41	0,64	60,00
CTC (cmolc/dm ³)	Gaussiano	1,60	16,11	90,1	276,44	0,68	116,00
Mg (cmolc/dm ³)	Gaussiano	0,31	1,92	84,1	356,80	0,72	1,60
pH	Exponencial	0,00	0,16	99,9	408,00	0,89	0,00
Produtividade (sc/ha)	Gaussiano	0,10	107,70	99,9	180,13	0,89	775,00

Legenda: SB = Saturação de Bases, C₀ = Efeito pepita, SQR = Soma dos quadrados dos resíduos, CD = Coeficiente de determinação.

Fonte: Autores 2023.

Do ponto de vista geoestatístico, todos os parâmetros de solo apresentaram dependência espacial, conforme demonstrado na Tabela 4. Sobretudo, o atributo saturação de bases apresentou índices moderados de dependência espacial (IDE).

Tabela 4 - Tabela da validação cruzada.

Variável	R ²	CR	SE
AL (cmolc/dm ³)	0,20	0,510	0,12
SB (%)	0,46	1,047	0,13
Ca (cmolc/dm ³)	0,71	0,998	0,07
CTC (cmolc/dm ³)	0,56	0,846	0,08
Mg (cmolc/dm ³)	0,62	0,945	0,08
pH	0,26	0,781	0,15
Produtividade (sc/ha)	0,20	0,643	0,15

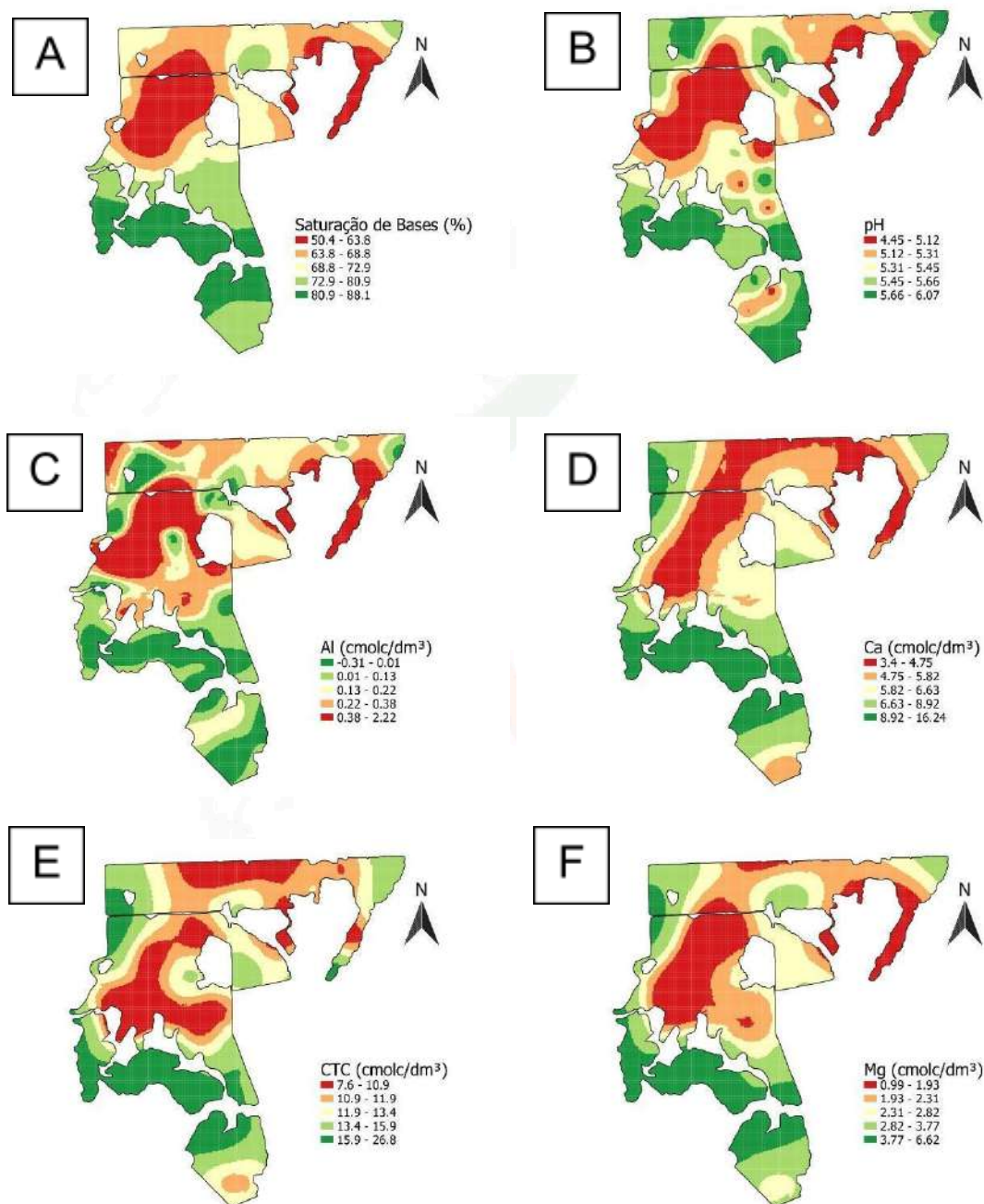
Legenda: R² = Coeficiente de determinação geostatística, CR = Coeficiente de regressão, SE = Erro quadrado médio.

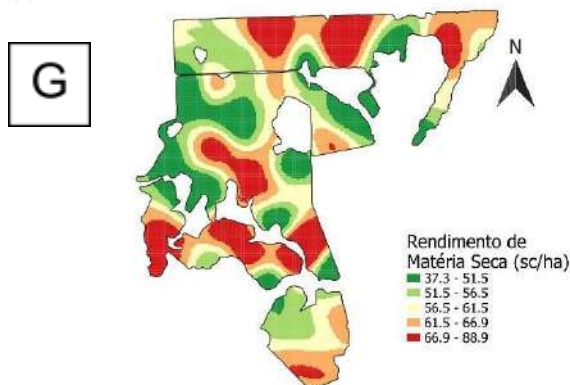
Fonte: Autores, 2023.

Já para as demais análises (Al, Ca, CTC, Mg, pH e produtividade) foram encontrados valores de IDE fortes. Nota-se que, na geração do semivariograma, foram utilizados diversos ajustes de modelos (esférico, gaussiano e exponencial), de acordo com a obtenção dos melhores valores em relação ao coeficiente de determinação (R²), soma dos quadrados dos resíduos (SQR), bem como parâmetros como patamar, efeito pepita e alcance. Tais resultados corroboram com outros estudos que consideram os ajustes de semivariograma em análises geoestatísticas,

sendo o modelo esférico comumente mais utilizado para atributos químicos de solo (VIEIRA, 2000; CORÁ et al., 2004; SOUZA et al., 2004; GREGO & VIEIRA, 2005). Os mapas resultantes da krigagem estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Mapa de Saturação de bases (A), pH (B), alumínio (C), cálcio (D), capacidade de troca de cátions (CTC) (E), magnésio (F) e rendimento de de grãos (G).





Fonte: Autores, 2023.

Em estudo geoestatístico, conduzido por Souza et al. (2010), sobre atributos de solo relacionados à produtividade da cana-de-açúcar, foi encontrado que todos os parâmetros obtiveram melhor ajuste ao modelo esférico. Os mesmos, obtiveram resultados semelhantes em relação ao grau de dependência espacial, onde a maioria dos atributos de solo analisados (exceto potássio e matéria orgânica), apresentaram fortes IDE. Este fator é primordial e grande indicativo de confiabilidade do uso de semivariogramas para estimativa da variância encontrada nos pontos experimentais.

Por conseguinte, devido à moderada a forte da dependência espacial, foi possível construir mapas temáticos (Figura 2), através da técnica de interpolação por krigagem ordinária. Estes mapas demonstram, espacialmente, a distribuição e comportamento dos atributos do solo sob os pontos amostrais georreferenciados nos talhões. Em estudo conduzido por Paz-Gonzalez et al. (2001), é apontado que, em interpolação de valores, o método da krigagem é muito eficiente para estimativa dos parâmetros em determinadas áreas, que não apresentem medições.

4. CONCLUSÃO

A produtividade de grãos de soja demonstrou correlação significativa com os atributos de pH, CTC, saturação de bases e teores de Al, Ca e Mg do solo. Mediante o estudo desenvolvido, verifica-se a viabilidade da aplicação das ferramentas da geoestatística na correlação espacial de atributos do solo com a produtividade da cultura, em área situada no município de São Sepé-RS. Todos os atributos citados acima apresentaram, na modelagem geoestatística, índices de dependência espacial moderados a altos, os quais destacaram-se os seguintes componentes: Al, Ca, CTC, Mg e produtividade de soja. Assim, é possível a geração de mapas temáticos por meio da interpolação por krigagem ordinária.

Desta forma, podemos concluir que a realização de coleta de solo em grid pode auxiliar o produtor a obter melhor entendimento sobre a variabilidade espacial de atributos do solo em toda área agrícola. A observação desta variabilidade possibilita a determinação da necessidade de adubação, e, além disso, pode auxiliar na observação de quais as limitações químicas que podem estar interferindo negativamente na produtividade de grãos, tendo em vista que esta última possui correlação com as propriedades químicas do solo. Havendo a determinação da variabilidade, há possibilidade de melhor distribuição dos insumos, conforme a necessidade específica de cada área dentro da lavoura.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMADO, T.J.C., SANTI, A.L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J.E. (ed.) **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo, Berthier, p.99-144, 2007.
- CORÁ, J.E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- FIORIN, J.E. & SILVA, A.N. Relação entre pH em água e saturação por bases nas áreas manejadas em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. In: **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2013. Florianópolis, SC. Anais... Florianópolis, SC: SBCS, 2013.
- FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANCA, G. E. de. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, jan./fev. Embrapa Milho e Sorgo, 2001.
- GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.
- KITAMURA, A.E. et al. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p.361-369, 2007.
- MEGDA, M.M. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.781-788, 2008.
- PAZ-GONZALEZ, A.; CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a onehectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.
- ROSA FILHO, G. et al. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.2, p.275-283, 2009.
- SEIDEL EJ & OLIVEIRA MS. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 38: 699-705, 2014.
- SOUZA ZM et al. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural** 44: 261-268, 2014.
- SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1763-1771, 2004.

SOUZA, Z. M. CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, V.1, p.1-53., 2000.



AVALIAÇÃO GEOSTATÍSTICA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM UM OXISOL, EM NÍVEL COMERCIAL NA REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI

Geostatistical assessment of the spatial variability of soil resistance to penetration in an oxisol, at commercial level in the Eastern Region of Paraguay

Victor Hugo Lezcano Velazco¹, Rozymario Bittencourt Fagundes¹, Jardel Talamini de Abreu¹, Paulo Rogério Amaral Nunes¹, Pedro Trevisan Hamann¹, Lúcio de Paula Amaral¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Programa De Pós-Graduação Em Agricultura De Precisão Colégio Politécnico - Prédio 70, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil, vlezcano01@gmail.com, mariobitten@yahoo.com.br, itabreu7@gmail.com, marinhohvu@gmail.com, pthamann@gmail.com, lucio.amaral@ufsm.br

RESUMO

No diagnóstico sobre a compactação do solo, a análise sobre a resistência à penetração (RP) pode ser realizada por meio da penetrometria e da geoestatística, mas ainda há dúvidas sobre sua eficiência. Assim, este artigo objetiva avaliar a RP de uma área de produção de soja com o uso do PenetroLOG (modelo PLG2040), um penetrômetro digital comercializado pela empresa Falker. Utilizou-se área amostral de 81 hectares em um Oxisol, na cidade de Nueva Esperanza, Paraguai, com coleta de 40 pontos amostrais, aos níveis de 0-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-40 e 40-60 cm de profundidade. Foram realizados ajustes de semivariograma com o software GS+. A análise geoestatística apontou ausência de dependência espacial entre 0-10 cm; moderada entre 10-25 cm; e forte de 25-60 cm. Concluiu-se que a penetrometria, aliada à geoestatística, pode ser usada para melhor avaliação sobre a resistência do solo à penetração e tomada de decisão sobre o manejo da compactação do solo.

Palavras-chave: Penetrometria. Agricultura de Precisão. Krigagem ordinária.

ABSTRACT

In the diagnosis of soil compaction, the analysis of resistance to penetration (PR) can be carried out using penetrometry and geostatistics, but there are still doubts about its efficiency. Therefore, this article aims to evaluate the PR of a soybean production area using PenetroLOG (model PLG2040), a digital penetrometer sold by the company Falker. A sampling area of 80 hectares was used in an Oxisol, in the city of Nueva Esperanza, Paraguay, with collection of 40 sampling points, at levels of 0-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-40 and 40-60 cm deep. Semivariogram adjustments were made with the GS+ software. The geostatistical analysis showed the absence of spatial dependence between 0-10 cm; moderate between 10-25 cm; and strong of 25-60 cm. It was concluded that penetrometry, combined with geostatistics, can be used to better assess soil resistance to penetration and make decisions about soil compaction management.

Keywords: Penetrometry. Precision agriculture. Ordinary kriging.

1. INTRODUÇÃO

A resistência do solo à penetração (RP) está entre as propriedades físicas afetadas pela compactação do solo, problema que interfere na dinâmica da água, do ar e do calor, gerando baixas produtividades em áreas agrícolas, já que nessas condições as raízes das plantas não conseguem se desenvolver (Beutler et al., 2007).

Conforme Santos (2017), a RP pode ser analisada por meio da variação da pressão do solo, com o uso de equipamentos chamados penetrômetros, os quais são capazes de determinar índices de compactação por meio de uma técnica chamada penetrometria. Os penetrômetros podem variar segundo o princípio de penetração, podendo ser estáticos ou

dinâmicos. Segundo Herrick e Jones (2002), enquanto os penetrômetros estáticos registram a RP por unidade de área, os dinâmicos a registram por profundidade.

No penetrômetro, geralmente, a unidade que mede a pressão do solo é a kiloPascal (kPa). De acordo com Silva e Reinert (1998), o valor do kPa a partir do qual passa a existir a dificuldade do crescimento radicular depende da cultura em questão, mas de forma geral valores acima de 2.000 kPa são mais aceitos como críticos de resistência do solo ao crescimento de raízes, podendo chegar a cerca de 5.000 kPa, na profundidade até 60 cm. Silva e Reinert (1998), por sua vez, coloca que níveis de kPa entre 2.800 a 3.200 são suficientes para indicar retardamento da alongação das raízes e acima de 4.000 kPa ocorre a paralisação do crescimento delas.

No caso da soja, cultura agrícola alvo da pesquisa no presente artigo, a RP está entre os cinco principais fatores para obtenção de boa produtividade – acima de 70 sc ha⁻¹ –, segundo a Rede de Pesquisa CESB (2016), que em seu estudo obteve, na profundidade entre 10 e 60 cm, variação da média entre 700 a 1.400 kPa.

Já o limite de confiança da média (95%) para a RP foi de 1700. Quando a pressão do solo está entre 1.000 e 2.000 kPa é indicativo de decréscimo de crescimento radicular; e acima de 2.000 já ocorre na raiz a perda de 60% a 80% do potencial de crescimento (BENNIE et al., 1996; In Rede de Pesquisa CESB, 2016). Esses dados, mesmo analisados de forma isolada, fornecem informações importantes sobre a RP, mas seu diagnóstico pode ser mais completo a partir da análise geoestatística, por meio da técnica da krigagem ordinária, na qual é possível interpolar os dados da RP e interpretar a variabilidade e a dependência espacial.

De acordo com Ferrari *et al* (2018), a partir do uso da krigagem ordinária obtém-se informações e dados que favorecem a uma interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, tendo como um dos fatores analisados a dependência espacial no intervalo da amostragem, já que, de acordo com Souza *et al.* (2006), a variabilidade espacial da RP não ocorre ao acaso.

Este trabalho parte das hipóteses de que há diferenças relevantes no IDE (Índice de dependência espacial) entre as profundidades amostrais e os principais fatores que podem interferir na qualidade da krigagem, como SQR (soma dos quadrados dos resíduos) e o EPE (erro padrão da estimativa) da validação cruzada.

Tal avaliação se faz necessária para aperfeiçoar metodologias utilizadas e favorecer a uma melhor tomada de decisão sobre qual manejo adotar para situações em que são constatadas a resistência do solo à penetração, fazendo, assim, com que a gestão da propriedade rural e da área de produção seja mais eficiente, sobretudo em áreas com produção agrícola de relevância global, como é o caso da produção de soja no Paraguai, onde fica localizada a área utilizada neste estudo.

Na produção global de soja, o Paraguai situa-se como um dos principais produtores na América Latina, onde os maiores produtores são Brasil e Argentina. Somados, essas nações devem produzir na temporada da safra 2023/2024 mais de 221 milhões de toneladas de soja, segundo dados oficiais dos respectivos países. No Paraguai, em especial, a produção de soja representa uma das principais forças da produção agropecuária, com perspectiva de produção na safra 2023/2024 de 9,9 milhões de toneladas de soja, segundo dados da Câmara dos Exportadores e Comerciantes de Cereais e Oleaginosas (Capeco).

O mapeamento da resistência à penetração com ferramentas de agricultura de precisão para diagnosticar a compactação do solo, sua posição espacial e profundidade, é oferecido atualmente no mercado para auxiliar na tomada de decisões sobre o manejo. Os intervalos da estratificação das camadas visam a identificação da faixa com a maior compactação e sua

distribuição espacial, já que os cortes em intervalos menores entre 10-20 cm são os mais propensos a albergar a compactação máxima (FLOSS, 2022).

Quando diagnosticada a necessidade de escarificação (até 25 cm de profundidade) ou subsolagem (acima de 25 cm de profundidade), ela deve ser realizada após a colheita do milho ou outra cultura com palha abundante, ou culturas de cobertura, quando essas cobrirem o solo (FLOSS, 2022).

Assim, espera-se que o presente estudo possa contribuir com uma produção de soja mais eficiente e sustentável do ponto de vista econômico e ambiental, a partir das melhores práticas de avaliação e manejo de compactação do solo.

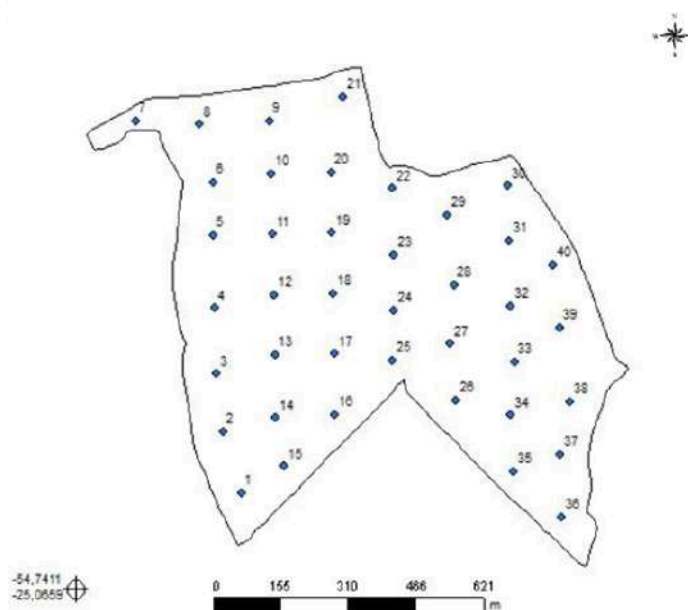
2. MATERIAL E MÉTODOS

A área amostral deste estudo é de produção de soja, com 81 hectares, localizada na cidade de Nueva Esperanza, Paraguai, com coleta de 40 pontos amostrais, aos níveis de 0-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-40 e 40-60 cm de profundidade. Para avaliação da RP, foram utilizados dados comerciais da empresa Sustentap (Paraguai), que utiliza o equipamento manual PenetroLOG (modelo PLG2040), cone C2, comercializado pela empresa Falker.

A coleta foi feita dia 13 de maio de 2023, em um talhão de produção de soja, com produtividade média anual de 58 sc ha⁻¹ e produtividade máxima de 67 sc ha⁻¹, nos últimos 5 anos. Na mesma área, ocorre sucessão de culturas soja-milho e declividade do terreno é de 4%. A região da propriedade rural tem precipitação média anual de 1.600 mm, com temperatura mínima de 18°C e máxima 32°C (DINAC, 2021).

O terreno da área de coleta das amostras é um Oxisol, segundo o sistema de classificação dos Estados Unidos (LOPEZ, 1992), tendo umidade média de 22%, medido por diferença de peso em estufa até peso constante, em um solo cuja granulometria é de 21% de areia, 24% de silte e 55% de argila. A grade amostral foi gerada no software SMS Ag Leader na intensidade de 1 amostra a cada 2 hectares (Figura 1), logo levado no software ArcGis, onde foram realizados ajustes nos pontos amostrais, evitando áreas não representativas.

Figura 1 - Grade amostral e contorno do talhão.



Fonte: Sustentap (2023)

Finalmente, os pontos amostrais foram transferidos ao Juno T-41 Trimble com o software HGis. A coleta dos dados foi realizada com 3 subamostras em cada ponto georreferenciado, sendo que as médias foram realizadas em planilha de Excel.

A dependência espacial foi determinada com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca, avaliada pela análise de semivariogramas ajustados pelo software GS+ 7.0. O ajuste do semivariograma foi realizado visando menores valores de SQR (soma dos quadrados dos resíduos) e do EPE (erro padrão da estimativa) na validação cruzada. O semivariograma foi estimado através da equação 1:

$$\text{Equação 1) } \gamma(h) = \frac{1}{2n_{(h)}} \sum_{i=1}^{n_{(h)}} \left[Z(x_i) - Z(x_{i+h}) \right]^2$$

Onde: N(h) é o número de pares experimentais de dados separados por uma distância h; Z(xi) é o valor determinado em cada ponto amostrado; Z(xi +h) é o valor medido num ponto mais uma distância h. O IDE (Índice de Dependência Espacial) foi calculado segundo Zimback (2001), com a fórmula $[(C/(C_0+C0))] * 100$, tendo como intervalos da variância espacial total da amostra de 0%: sem IDE (efeito pepita puro); ≤ 25%: fraca dependência espacial; entre 25 e 75%: moderada dependência espacial; ≥ 75%: forte dependência espacial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados das amostras, na estatística paramétrica (Tabela 1), observa-se oscilação dos valores máximos de kPa desde a camada 0-10 cm e maiores que 2.000 kPa, acima do nível crítico (BENNIE et al., 1996). Entre as camadas de 10-60 cm, os valores de kPa estão acima de 3.000. Para conteúdo de umidade semelhante, próximo ao ponto de murcha em um solo argiloso, Gilardello et al. (2014) encontraram reduções de 10 a 38% de produtividade, acima desse valor de kPa.

Na estatística descritiva (Tabela 1), observa-se elevados CVs (coeficientes de variação) nas camadas superficiais, até 20 cm, tendo uma diminuição e estabilização entre 20-60 cm, possivelmente ocasionada pelo menor impacto do tráfego de maquinários, situação semelhante observada nos trabalhos de Bottega (2011) e Toscani (2014). A diferença entre os dois trabalhos é a de que, enquanto o do primeiro foram feitos em um Latossolo vermelho baixo, sistema de plantio direto, o do segundo foi desenvolvido em um Cambissolo Háplico de um campo de futebol.

Na análise geoestatística (Tabela 2), observa-se uma redução do efeito pepita nas camadas de 25-40 e 40-60 cm, um R² baixo na camada de 0-10 cm e alto nas demais (acima de 0,9), percentagem menor a 25% para a contribuição na camada 0-10 cm, classificando-a como fraca DE, segundo Zimback (2001). Observou-se moderada DE nas camadas de 10-25 cm; e forte entre as camadas de 25-60 cm. Bottega (2011), por sua vez, encontrou para 0-8 cm e 0-12 cm IDE moderada, assim como Cancian (2015) na camada 0-10 cm.

Para o presente trabalho, nas camadas 10-15, 15-20 e 20-25 cm, observou-se IDE moderada, semelhante aos trabalhos de Bottega (2011), Cancian (2015) e Toscani (2014) em profundidades de 20, 40 e 30 cm, respectivamente. Finalmente, obteve-se IDE forte na camada 25-40 cm, diferente de Cancian (2015), e na camada 40-60 cm também IDE forte superando a profundidade de avaliação dos outros trabalhos.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos valores da resistência à penetração em kPa.

Prof. amostra (cm)	Média	DV	Var A	Máx	Mín	Exc	A	C	CV
0-1	762,9	462,8	214218	2239	125	2	0,89	0,97	60,7
10 a 15	1822,6	773,2	597832	3260	565	2	0,14	-1,12	42,4
15 a 20	2417,0	726,7	528164	3546	1238	2	0,01	-1,42	30,1
20 a 25	2957,1	682,2	465462	4213	1718	3	-0,22	-1,03	23,1
25 a 40	3444,5	855,3	731493	5111	1503	0	-0,37	-0,05	24,8
40 a 60	3386,1	877,7	770275	4625	1066	2	-1,1	0,94	25,9

Legenda: DV: desvio padrão; Var A.: variância da amostra; Máx.: valor máximo; Mín.: valor mínimo; Exc.: valores excluídos; A: assimetria; C: Curtose; CV: coeficiente de variação %).

Fonte: Autores (2023)

Tabela 2 - Parâmetros variográficos para diferentes profundidades da RP em kPa.

Profundidade e cm	Modelo	Co	Co+C	A	r ²	SQR	C/(Co+C)	DE
0 a 10	Linear	163745	200931,78	586,9	0,363	1,03E+09	0,185	Fraca
10 a 15	Gaussian	337000	988500,00	1269,6	0,997	1,81E+08	0,659	Moderada
15 a 20	Gaussian	249000	865400,00	1153,5	0,977	1,62E+09	0,712	Moderada
20 a 25	Spherical	210200	433600,00	667,0	0,903	1,93E+09	0,515	Moderada
25 a 40	Gaussian	1000	742040,54	270,0	0,921	9,88E+09	0,999	Forte
40 a 60	Gaussian	1000	756589,88	318,0	0,958	1,97E+10	0,999	Forte

Legenda: Co: efeito pepita; Co+C: efeito pepita + contribuição; A: alcance; r²: Coeficiente de determinação; SQR: soma dos quadrados dos resíduos; C/(Co+C) proporção da contribuição; DE dependência espacial.

Fonte: Autores (2023)

Na Tabela 3, apresenta-se os dados da validação cruzada, onde observa-se a percentagem do EP (erro padrão), que é a relação entre erro preditivo e a amplitude da amostra da camada, e o CR (coeficiente de regressão) superior, parâmetros que melhoram com o aumento da profundidade, o que indica a maior qualidade da estimativa dos mapas por krigagem.

Tabela 3 – Validação cruzada para os valores de resistência à penetração em kPa

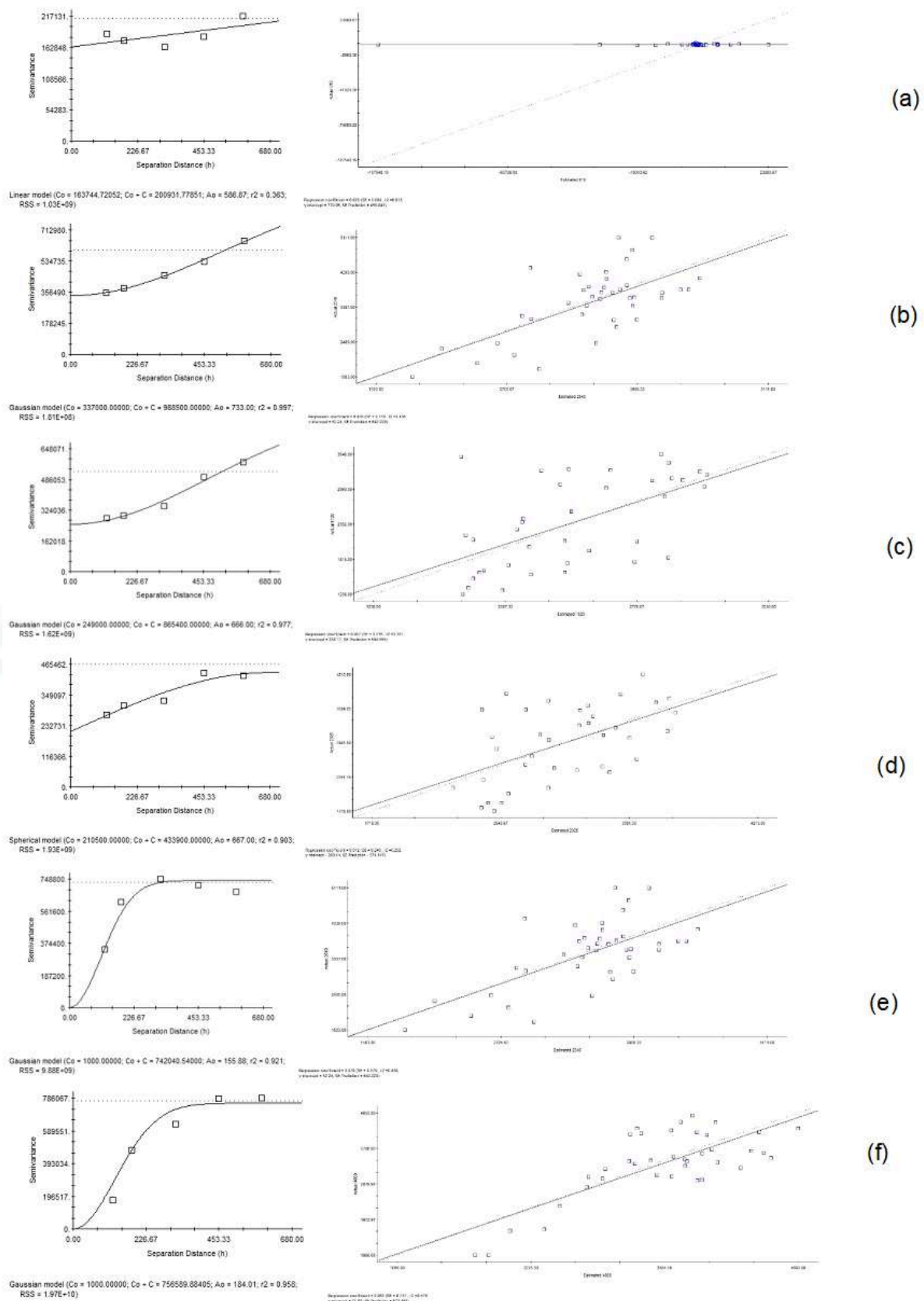
Prof. amostra cm	CR	EP	EPE	%EPE/AA
0 a 10	0,003	0,004	459,8	21,8
10 a 15	0,800	0,260	692,1	26,0
15 a 20	0,907	0,215	594,3	25,7
20 a 25	0,912	0,240	574,6	23,3
25 a 40	0,970	0,179	642,3	19,6
40 a 60	0,960	0,137	571,5	16,0

Legenda: CR: Coeficiente de Regressão; EP: erro padrão; EPE: erro padrão da estimativa em kPa; %EPE/AA: percentagem do EPE na amplitude da amostra.

Fonte: Autores (2023)

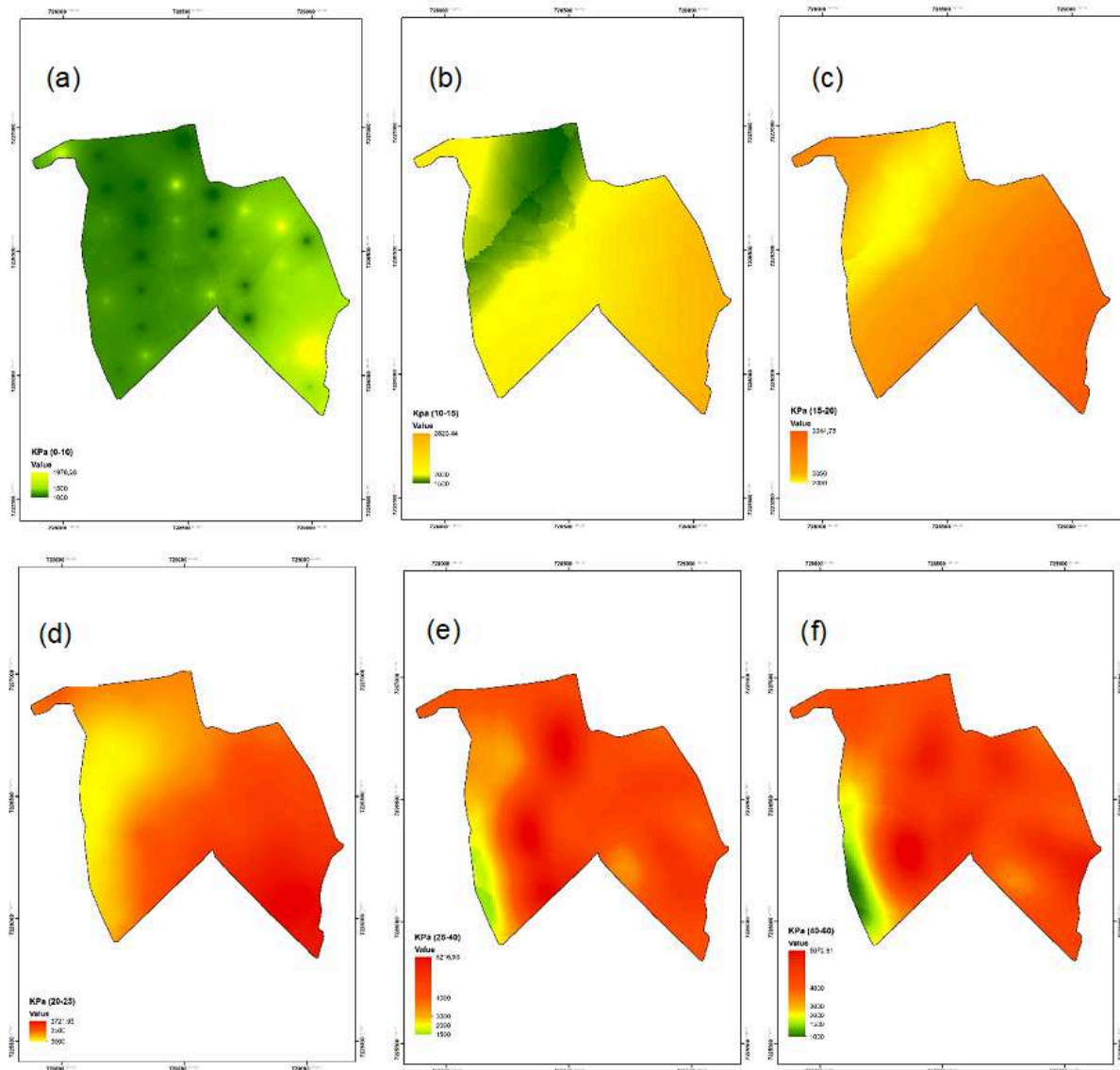
Por isso, são necessários manejos específicos na lavoura para que haja produção sustentável tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Nesse sentido, utilizar as ferramentas de agricultura de precisão para diagnosticar RP, sua posição espacial e a sua profundidade é essencial para maior eficiência na produção. No mercado, há empresas que oferecem aos produtores rurais o serviço de medição da RP por meio da penetrometria.

Figura 2 - Semivariogramas isotrópicos para resistência à penetração em Kpa e validações cruzadas Kpa nas profundidades de 0-10cm (a); 10-15cm (b); 15-20cm (c); 20-25 cm (d); 25-40 cm (e); 40-60 cm (f).



Fonte: Autores (2023)

Figura 3 - Mapas de krigagem para resistência à penetração em kPa nas profundidades de 0-10 cm (a); 10-15 cm (b); 15-20 cm (c); 20-25 cm (d); 25-40 cm (e); 40-60 cm (f).



Fonte: Autores (2023)

4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados acima obtidos, foi possível chegar às seguintes conclusões:

1. O IDE da RP aumenta conforme a profundidade do solo, sendo menor nas camadas mais superficiais, onde o solo sofre contato direto com maquinários agrícolas;
2. A estratificação da RP melhora a avaliação dos dados e permite que se obtenha informações mais precisas sobre a compactação do solo;
3. A krigagem ordinária pode ser utilizada para espacialização da RP e auxiliar na tomada de decisão de manejos.

REFERÊNCIAS

- BEUTTER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. **Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de Latossolos**. Engenharia Agrícola, v.27, p.146-151, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100008>. Acesso em: 18 set. 2023.
- BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, SAMUEL DE A.; QUEIROZ, D.M. DE; SOUZA, CRISTIANO M. A. DE; RAFULL, LEIDY Z. L. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 6, núm. 2, abril-junio, 2011, pp. 331-336 Universidade Federal Rural de Pernambuco Pernambuco, Brasil.
- CÂMARA DOS EXPORTADORES E COMERCIANTES DE CEREAIS E OLEAGINOSAS (CAPECO), 2023. Disponível em: <https://capeco.org.py/>. Acesso em: 18 set. 2023.
- CANCIAN, L.C. **Variabilidade espacial da resistência a penetração, granulometria e umidade do solo**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Agronomia- Agricultura e ambiente, RS, 2015.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE AERONAUTICA CIVIL (DINAC). **Anuario Climatológico 2021**. Dirección de Meteorología e Hidrología. Disponível em: https://www.meteorologia.gov.py/wp-content/uploads/2022/09/Anuario-2021_final_-1.pdf. Acesso em: 21 set. 2023.
- FERRARI, J. M. S., GABRIEL, C. P. C., SILVA, T. B. G., MOTA, F. D., GABRIEL FILHO, L. R. A., & TANAKA, E. M. (2018). **Analysis of the spatial variability of resistance to soil penetration at different depths**. Revista Brasileira De Engenharia De Biosistemas, 12(2), 164–175. <https://doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p164-175>.
- FLOSS, E.L. **Maximizando o rendimento da Soja “ecofisiologia, nutrição e manejo”**. 2 ed.-/Elmar Luiz Floss.- Passo Fundo: Aldeia Sul; Passografic, 2022.Parte 2 p69-72.
- GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L. CHERUBIN,M.R; KUNTZ, J.; TEIXEIRA, T. DE G. **Resistência a penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração**. Revista Brasileira de ciência do Solo. Viçosa, V.38 n. 4, 2014.
- HERRICK, J.E.; JONES, T.L. **A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.66, n.4, p.1320-4, 2002.
- LOPEZ GOROSTIAGA, O. ET AL. **Suelos de la Región Oriental del Paraguay**. Ministerio de Agricultura y Ganaderia (MAG) Sub Secretaria de Estado de Recursos Naturales y Medio Ambiente Direccion de Ordenamiento Ambiental Ruta Mariscal Estigarriba, Km. 10 San Lorenzo, Paraguay. 1992.
- REDE DE PESQUISA CESB. **Fatores decisivos para se obter produtividade de soja acima de 4.200 kg/ha**. Circular Técnica. Novembro de 2016. Volume 2.
- SILVA, V. R.; REINERT, D.J. **Efeito do sistema de cultivo na resistência de um latossolo roxo**. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 1998, Brasília. Cd-ron, VI ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Qualidade Ambiental e Prosperidade na Agricultura. Brasília – DF: 1998. v.1. p.1-3.
- SANTOS I.L. **Avaliação de diferentes penetrômetro na mensuração da compactação do solo**. 2017, 33 f. Trabalho de Curso (Engenharia Agrícola e Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop.
- SOUZA, Z.M. et al. **Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-deaçúcar**. Ciência Rural, Santa Maria, v.36, n.1, p.128-134, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000100019> Acesso em: 21 de set. 2023.

TOSCANI ACOSTA, L. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um campo de futebol.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-graduação em agricultura de precisão, RS, 2014.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo.** 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.



ÁREA TEMÁTICA: MÁQUINAS AGRÍCOLAS DESENVOLVIDAS PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO



AMASSAMENTO DAS PLANTAS NA PULVERIZAÇÃO EM ÁREAS COM TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS

Crushing of plants when spraying in areas with controlled machine traffic

Gilvan Moisés Bertollo¹; Alison de Meira Ramos²; Antônio Luis Santi¹; Mateus Piovesan¹, Marcelo Luiz Seibert¹; Nilson Biesdorf¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Linha Sete de Setembro, s/n, CEP: 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, gilvan.bertollo@ufsm.br; antonio.santi@ufsm.br; mateus-piovesan@hotmail.com; marcelo.seibert@acad.ufsm.br; biesdorf.nilson@acad.ufsm.br

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Cerejeira, s/n, 85892-000, Santa Helena – PR, Brasil, aliramosmeira98@hotmail.com

RESUMO

Uma técnica para aumentar a eficiência das máquinas e reduzir custos de produção é o uso do tráfego controlado de máquinas, que consiste na padronização das distâncias entre os rodados permitindo que máquinas e implementos se desloquem em locais pré-determinados. Assim, determinando-se o local por onde as máquinas trafegam, é possível reduzir o amassamento das plantas na pulverização agrícola. O objetivo deste trabalho foi avaliar qual o melhor sentido de pulverização na cultura da soja que proporcione maior redução da produtividade em função do amassamento de plantas na cultura da soja. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com seis sentidos de tráfego (testemunha, amassamento longitudinal, amassamento transversal, amassamento diagonal, aumento da densidade e sem cultivo de plantas nas linhas de tráfego do pulverizador). Concluiu-se que trafegar com o pulverizador no sentido transversal e diagonal proporciona redução de produtividade em função do amassamento da cultura da soja.

Palavras-chave: Linhas de tráfego. Pulverização. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

A technique to increase machine efficiency and reduce production costs is the use of controlled machine traffic, which consists of standardizing the distances between wheelsets, allowing machines and implements to move in pre-determined locations. In this sense, by determining the location where the machines travel, it is possible to reduce the crushing of plants during agricultural spraying. The objective of this work was to evaluate the best direction of spraying in soybean crops that provides a reduction in productivity due to the crushing of plants in soybean crops. The experimental design was randomized blocks, in a one-factor scheme with six traffic directions (control, longitudinal crushing, transversal crushing, diagonal crushing, increased density and no plant cultivation in the sprayer traffic lines). It was concluded that traveling with the sprayer in a transversal and diagonal direction results in a reduction in productivity due to the crushing of the soybean crop.

Keywords: Traffic lines. Pulverization. Precision agriculture.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento constante na população mundial e a demanda na produção energética, faz-se necessário a utilização de produtos que garantam a sanidade da produção vegetal. Grande parte dos produtos fitossanitários utilizados na agricultura brasileira são aplicados por meio de pulverizadores de barra. Uma das limitações dessa técnica consiste na redução da produtividade

pelo amassamento da cultura. De acordo com Lima Júnior et al. (2018) o modelo de pulverização deve ser rigorosamente levado em consideração para efeitos de menores prejuízos, pois plantas amassadas produzem menos, não produzem ou morrem. Na cultura da soja, Costa (2017) aponta que danos por amassamento de plantas podem ocasionar de 4 a 7% de perda de produtividade de grãos.

O amassamento é inevitável em grande parte das culturas e, apesar de poder ser reduzido ao adotar técnicas diferenciadas como ajuste da bitola, ou maior espaçamento entre linhas ou o tráfego controlado de máquinas. Deste modo, o controle do tráfego das máquinas muda os princípios da agricultura, passando de um tráfego aleatório tradicional para um sistema com planejamento de linhas fixas de rodagem, no qual há o controle de todas as entradas de máquinas no talhão (McHUGH et al., 2009).

Neste sentido, planejando o tráfego da pulverização, é possível encontrar a forma de deslocamento do pulverizador na lavoura que ocasiona o menor amassamento de plantas e, por consequência, a menor perda de produtividade, tornando essa pesquisa de grande importância já que esse tráfego não pode ser evitado. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar qual o sentido de pulverização na cultura da soja que proporciona redução da produtividade em função do amassamento da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Santa Helena 24°50'57"S 54°20'44"W com altitude média de 237 metros. A região possui um clima subtropical e o solo local se caracteriza como Latossolo Vermelho.

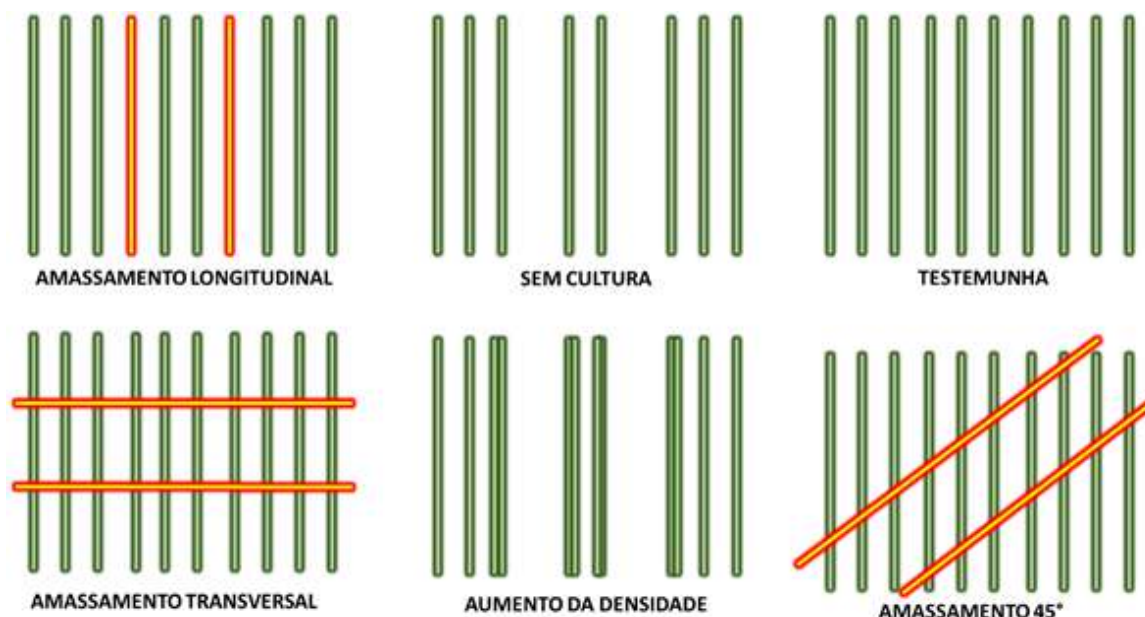
O experimento foi implantado na área experimental da UTFPR Câmpus Santa Helena. Para realizar a semeadura, utilizou-se o trator da marca New Holland modelo TL85 com tração dianteira auxiliar (TDA) possuindo bitola de 2,2 m e banda de rodagem de 0,52 m de largura. A semeadora adubadora utilizada foi da marca Impleforte modelo Seed Max de 6 linhas, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, com disco de corte de 17", haste sulcadora para a deposição de fertilizante atuando na profundidade de 0,11 m, disco duplo para sementes, rodas de controle de profundidade e rodas compactadoras em V.

Utilizou-se o fertilizante NPK 02-20-18 distribuído à uma dosagem de 300 kg ha⁻¹. A cultivar utilizada para realizar o experimento da soja foi a Dom Mário 6563 utilizando-se densidade de 12 sementes por metro linear nos tratamentos de população normal, já no tratamento com maior densidade de plantas, foram distribuídas o dobro de sementes por metro linear nas linhas de cultura que se localizaram ao lado das linhas de tráfego do pulverizador.

Para a realização da pulverização foi utilizado um trator da marca New Holland, modelo TL 85E, com tração dianteira auxiliar (TDA), com 62,5 kW de potência. O pulverizador acoplado ao trator foi da marca Jacto, capacidade de 600 litros, com barras de 12 metros de largura, bicos espaçados a cada 0,5 metros e pontas da marca TeeJet, modelo 11002.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com seis sentidos de tráfego (testemunha, amassamento longitudinal, amassamento transversal, amassamento diagonal, aumento da densidade e sem cultivo de plantas nas linhas de tráfego do pulverizador) (Figura 1), com três repetições.

Figura 1. Representação do tráfego do pulverizador sobre as linhas da cultura da soja nos diferentes sentidos.



Fonte: Autor (2022)

As aplicações de defensivos agrícolas foram realizadas respeitando os sentidos de pulverização conforme Figura 1. A coleta das plantas para estimativa da produtividade foi realizada nas quatro linhas paralelas ao tráfego, em 5 metros de comprimento, totalizando 10 m² por parcela experimental. A colheita, realizada de forma manual, coleou-se os materiais das parcelas e foi debulhado com o uma trilhadora acoplada ao trator. Posterior ao processo de trilha da cultura, foram realizados os processos de aferição de umidade dos materiais e pesagem dos mesmos para gerar as planilhas de dados comparativos.

Os resultados obtidos foram tabulados e submetidos a análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA et al., 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados revelam que a maior produtividade da cultura da soja ocorre onde não foram cultivadas as plantas nas linhas onde o pulverizador trafega e quando o sentido de tráfego do pulverizador acontece no sentido longitudinal (Tabela 1). De acordo com Justino et al. (2006) na cultura do feijão, a pulverização no sentido longitudinal apresentou maior produtividade. Segundo esses autores, a técnica de aplicação no sentido longitudinal às linhas de semeadura causou perdas de plantas que reduzem a densidade de plantas e produtividade devido ao amassamento provocado pelos pneus do trator durante as pulverizações. Esse resultado vai ao encontro deste trabalho onde o sentido longitudinal apresentou maior produtividade, juntamente com o não cultivo das linhas de tráfego do pulverizador.

Tabela 1. Produtividade da cultura da soja em diferentes sentidos de pulverização

Tratamento	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Sem cultura	2237 a*
Longitudinal	2317 a
Transversal	1346 c
Diagonal	1157 c
Mais população	1794 b
Testemunha	1519 bc

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Fonte: Autores (2023)

Esses resultados reforçam a plasticidade da cultura da soja em ocupar os espaços vazios deixados pelas linhas de tráfego do pulverizador, ou seja, quando as plantas que ocupam as linhas de tráfego do pulverizador não são semeadas (sem cultura) ou elas são eliminadas ainda em estágio inicial de desenvolvimento (longitudinal), das plantas localizadas nas linhas adjacentes, conseguem desenvolver ramificações e ocupar esse espaço de tráfego dos rodados do pulverizador, compensando em produtividade. A mesma constatação foi observada por Matthews (2000) que nas plantas das linhas adjacentes aos espaços deixados para a passagem das rodas do trator, podem surgir brotações laterais e maior quantidade de grãos por plantas que minimizam a redução da população de plantas pelo amassamento provocado pelos rodados do pulverizador.

De acordo com Justino et al. (2006) com a opção de não cultivar as linhas de tráfego, deixa-se de semear 8,3% da quantidade de sementes, em decorrência da supressão de duas linhas de semeadura a cada 10,8 m (largura da barra do pulverizador) que poderiam sofrer danos mecânicos pelos pneus do trator. Esses autores também reforçam que essa opção traz economia de sementes e não-sobreposição das faixas de pulverização pela facilidade de visualização dos espaços para a passagem dos pneus do trator.

O tratamento que recebeu maior população de plantas nas linhas adjacentes para tentar ocupar melhor esse espaço vazio não produziu mais que a população recomendada pelo detentor da cultivar. Esse resultado demonstra que não compensa investir em maior quantidade de sementes para compensar o espaço vazio deixado pelas plantas amassadas pelo tráfego do rodado do pulverizador.

O sentido de deslocamento transversal e o diagonal às linhas de tráfego foram os que apresentaram as menores produtividades (Tabela 1). Justino et al. (2006) comentam que quando as pulverizações foram realizadas no sentido transversal às linhas de semeadura, houve amassamento pelos pneus de até seis plantas por linha, as quais não se recuperaram e evidenciaram a formação de espaços vazios ao longo do percurso. Cabe ressaltar, que esse sentido de deslocamento é muito utilizado pelos produtores rurais em suas aplicações de defensivos agrícolas, no entanto, neste trabalho, apresentou a menor produtividade da cultura da soja.

Os resultados deste trabalho revelam que não cultivar a linha de tráfego (sem cultura) ou trafegar com o pulverizador no sentido longitudinal, proporcionam maior peso de grãos (Tabela 2). Em trabalho realizado com sentidos de deslocamento e diferentes tipos de pontas de aplicação, Goulart (2017) encontrou no sentido de aplicação diagonal os maiores ganhos de massa de grãos, embora não houvesse diferença na deposição entre os sentidos de aplicação.

Tabela 2. Massa média de 100 grãos da cultura da soja em diferentes sentidos de pulverização

Tratamento	Massa de grãos (g)
Sem cultura	17,01 a*
Longitudinal	16,08 ab
Transversal	14,04 c
Diagonal	14,34 c
Mais população	15,22 bc
Testemunha	15,26 bc

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

O sentido de deslocamento do pulverizador que mais prejudicou o peso de grãos da soja foi o sentido transversal e diagonal (Tabela 2). De acordo com Bertollo et al (2018), estudando a operação de semeadura em área com tráfego controlado de máquinas, verificou os benefícios em utilizar diferentes configurações na semeadora, principalmente quando há variação da intensidade de compactação da área e se essa ocorre em locais específicos, como no uso de tráfego controlado em máquinas, que acontece em faixas de trânsito. Neste sentido, além dos ganhos na operação de semeadura, o controle do tráfego das máquinas pode reduzir também o amassamento de plantas e melhorar o peso dos grãos, como os resultados deste trabalho onde o peso de grãos foi maior onde não foi cultivada a soja no tráfego dos pneus do pulverizador.

4. CONCLUSÃO

Trafegar com o pulverizador no sentido transversal ou diagonal proporciona redução da produtividade da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- BERTOLLO, G. M. Tractor performance in sowing with furrower configurations in areas with controlled traffic of machines. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, n. 38, v. 5, 2018.
- COSTA, C. C. **Custos e benefícios do uso da pulverização aérea de agrotóxicos na agricultura**. Embrapa Instrumentação - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), v. 1, n. 1, p. 1-26, 2017.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência agrotecnica**. v.38, n.2 p.109-112, 2014.
- GOULART, C. S. **Sentido de aplicação e pontas de pulverização na deposição de calda na cultura da soja**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Uberlândia. 2017
- JUSTINO, A.; MENON, L.; BORA, L.; GARCIA, L. C.; RAETANO, C. G.. Sentido de pulverização em culturas de soja e feijão com pulverizador de barras. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, 2006.
- LIMA JUNIOR, I. D. S., DEGRANDE, P. E., DE OLIVEIRA, C. M. A., & PILETTI, L. M. M. Aspectos produtivos do algodoeiro em cultivo ultra adensado, adensado e convencional em diferentes ângulos de deslocamento do pulverizador. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 3, 2018.
- MATTHEWS, G.A. Pesticide application methods 3rd ed. London: **Blackwell Science**, 2000. 432 p.

McHUGH, R. K.; MURRAY, H. W.; BARLOW, D. H. Balancing fidelity and adaptation in the dissemination of empirically-supported treatments: the promise of transdiagnostic interventions. **Behaviour Research and Therapy**, n. 47, p. 946-953, 2009.



OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SEMEADURA COM USO DE FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DIGITAL

Optimization of sowing operation using digital tools in agriculture

Maria Juliana Soares da Silva Santos¹; Leonardo Hohm Haas¹; Vitoria Romero Garcia¹; Leticia Possel¹; Vitoria Pinheiro Chuquel¹; Luka da Costa Bianchin¹; Kinderman Jesse Muller da Silva¹; Vinícius dos Santos Cunha¹

¹Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Av. Tiarajú, 810, 97546-550, Alegrete – Rio Grande do Sul, Brasil, mariasoares.aluno@unipampa.edu.br; leonardohaas.aluno@unipampa.edu.br, vitoriagarcia.aluno@unipampa.edu.br, leticiapossel.aluno@unipampa.edu.br, vitoriachuquel.aluno@unipampa.edu.br, lukabianchin.aluno@unipampa.edu.br, kindermansilva.aluno@unipampa.edu.br, viniciuscunha@unipampa.edu.br.

RESUMO

A busca por sistemas produtivos rentáveis e sustentáveis aumenta à medida que a competitividade cresce no agronegócio. Nesse cenário, ferramentas da agricultura de precisão que permitem o planejamento prévio das operações, contribuem na tomada de decisão e podem aumentar a capacidade operacional, reduzindo consumo de combustível, bem como emissão de gases poluentes. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo estimar o benefício do planejamento prévio da operação de semeadura da cultura do arroz irrigado, realizado digitalmente em software dedicado a esse fim. O estudo foi constituído de dois cenários distintos para a realização da operação de semeadura, correspondentes a: (i) sentido usual efetuado pelo operador e (ii) planejamento do sentido para realização da operação. Dentre as variáveis resposta, o trabalho estimou a capacidade operacional e consumo de combustível, em ambos os cenários. Observou-se que o planejamento prévio da operação resulta em menor número de manobras de cabeceira e, consequentemente, aumenta a capacidade operacional, reduzindo o consumo de combustível. O benefício é maior em talhões com contorno retangular.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, Eficiência operacional, Semeadura.

ABSTRACT

The search for profitable and sustainable productive systems increases as competitiveness grows in agribusiness. In this scenario, precision agriculture tools that allow for pre-planning of operations, contributing to decision-making, can enhance operational capacity by reducing fuel consumption as well as the emission of polluting gases. Thus, this study aimed to estimate the benefit of pre-planning the operation of planting flooded rice, using dedicated software for this purpose. The study consisted of two scenarios for planting operation: (i) the usual pathway created by the operator, and (ii) pathway pre-planned for conducting the operation. Among response variables, the study estimated operational capacity and fuel consumption in both scenarios. It was observed that pathway pre-planned for the operation results in a lower number of maneuver, and consequently, increases the operational capacity of sowing while reducing fuel consumption. The benefit is greater in fields with rectangular contours.

Keywords: Precision agriculture, Operational efficiency, Sowing.

1. INTRODUÇÃO

No século passado, a agricultura brasileira ainda era primitiva, com maior prevalência de trabalho executado manualmente, com menos de 2% das propriedades rurais utilizando máquinas, sendo dependentes de tração animal. Esse é um dos motivos da baixa eficiência da agricultura na época, culminando em baixa capacidade produtiva (EMBRAPA, 2018). A partir da década de 80 políticas foram criadas possibilitando investimentos em pesquisa, desenvolvimento, extensão e acesso ao crédito, avançando até a promulgação da lei 14.475/2022, que instituiu a política nacional de incentivo à Agricultura de Precisão (AP).

Com isso, a agricultura brasileira avançou significativamente, por meio do advento de técnicas, tecnologias e práticas mais eficientes, como a introdução do piloto automático, com correção diferencial de posicionamento (MOLIN et al., 2011). A utilização dessas tecnologias otimiza o tempo para realização de operações, aumentando a eficiência e capacidade operacional, reduzindo os custos e a emissão de gases poluentes e conservando o solo (BERTOLLO et al., 2019; HUSSEIN et al., 2021).

Nessa perspectiva, a AP se apresenta como uma técnica imprescindível no alcance de melhoria na gestão operacional das lavouras. Por meio das ferramentas empregadas na AP, o planejamento prévio das operações pode ser implementado, permitindo otimização de processos, além de elevar o nível de qualidade das operações, racionalizando o uso de insumos e aumentando produtividade (MOLIN et al., 2011; BERTOLLO et al., 2019; HUSSEIN et al., 2021). O aumento da capacidade operacional é imprescindível no Brasil, país com capacidade de cultivar 2 a 3 culturas.ano⁻¹, demandando, para isso, agilidade em operações como semeadura e colheita, aumentando produção sem abrir novas áreas (MARIN et al., 2022).

Tomando como base trabalhos que estudaram o efeito da época de semeadura frente a produtividade de diversas culturas anuais, atrasos normalmente repercutem negativamente, reduzindo a produtividade. Alguns exemplos demonstram que culturas como soja (ZANON et al., 2016) e arroz irrigado (SARTORI et al., 2013) podem ter decréscimo de quase 30 kg.ha⁻¹.dia⁻¹, enquanto em milho a perda pode passar de 70 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ (SHIOGA & GERAGE, 2010). Com isso, o aumento da capacidade operacional preserva a produtividade das culturas, assim como reduz o consumo de combustível, em função de reduzir o tempo de operação do conjunto trator-semeadora (HUSSEIN et al., 2021).

Além da evolução observada na tecnologia advinda da AP embarcada em máquinas, por meio dos hardwares disponíveis, a evolução de softwares, para uso tanto no campo como em escritório, também facilita o alcance de operações mais eficientes (CUPIAŁ et al., 2015; NAKATA et al., 2023). O uso de softwares participa no processo estando acoplado com tecnologias como o piloto e até mesmo ao operador, tornando o processo mais automatizado. Isso porque softwares podem programar o sentido da operação, previamente, encontrando o sentido que demande menor tempo de execução, em diferentes tipos de terreno. O planejamento da operação é muitas vezes tratado conjuntamente ao conceito de tráfego controlado, que confina o tráfego das máquinas, nas diferentes operações, reduzindo a compactação, e até mesmo a erosão do solo, ao longo da área.

A utilização desse conceito traz benefícios e pode ser utilizado em sistema plantio direto, aumentando a sua viabilidade de uso sem necessidade de intervenções mecânicas (HUSSEIN et al., 2021). Além disso, traz aumento de produtividade e da eficiência no uso da água e do nitrogênio, conforme observado por HUSSEIN et al. (2021) em sorgo. Porém, culturas como o arroz, irrigado por inundação, demandam preparo recorrente da área, para adequação do sistema de irrigação, muitas vezes implantado sobre taipas (SARTORI et al., 2013). Com isso, o efeito do conceito de tráfego controlado sobre a compactação e erosão do solo no arroz irrigado não deve

ser observado, já que intervenções mecânicas são frequentes e, muitas vezes, necessárias. Porém, é possível utilizar parte do conceito, implementando apenas o planejamento do sentido das operações, buscando aumento da capacidade operacional e redução do consumo de combustível. Com isso, o objetivo deste trabalho foi estimar o potencial benefício da utilização do planejamento do tráfego na semeadura do arroz irrigado em uma lavoura comercial na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área destinada para o estudo pertence a uma propriedade agrícola situada no município de Itaqui/RS. As coordenadas do local não serão apresentadas, bem como não será feita nenhuma outra menção a propriedade e seus proprietários por solicitação dos mesmos, de modo a preservar sua identidade.

O histórico da área contempla majoritariamente o cultivo do arroz irrigado por inundação, possuindo área total de lavoura de arroz, aproximadamente, 237 hectares, sendo que alguns talhões foram selecionados para o estudo. Apresenta ainda uma declividade de 0,75% de acordo com dados planialtimétricos levantados durante o estudo. A Figura 1 representa as dimensões dos talhões selecionados. Os talhões foram numerados sequencialmente de 1 a 6 e suas áreas são 15.85, 2.61, 15.32, 31.77, 3.89 e 54.9 hectares, respectivamente. Os limites dos talhões representados na Figura 1 foram obtidos durante a condução do trabalho.

Figura 1 – Talhões utilizados.



Legenda: representação dos contornos dos talhões utilizados no estudo, com sua respectiva identificação e geometria.

Fonte: Google Earth, 2023.

O estudo foi conduzido por meio da projeção de cenários distintos para a realização da operação de semeadura: (i) sentido usual efetuado pelo operador (Operador) e (ii) sentido de tráfego planejado em software antes da operação (Planejado). O cenário (i) foi obtido por meio da coleta do sentido da operação de semeadura, realizada pelo próprio operador, na semeadura da cultura do arroz irrigado na safra 2022/2023. Na referida operação de semeadura, o operador,

utilizando piloto automático embarcado no trator, gerou uma linha de orientação para cada talhão, de modo a realizar a operação, com base na sua experiência e conhecimento a respeito dos contornos dos talhões da Figura 1. Cada linha de orientação ficou gravada no monitor do trator e foram extraídas para gerar o cenário (i).

O trator utilizado para a coleta dos dados planialtimétricos é o modelo 6150J, marca John Deere. Esse trator é equipado com terminal GreenStar™ 3 2630, acoplado a um sistema de direcionamento automático por acionamento hidráulico, trabalhando com sistema de correção posicional transmitido via rádio, do tipo RTK, com precisão centimétrica. Para a semeadura, esse trator opera acoplado a uma semeadora de arroz modelo SDM com 27 linhas espaçadas em 17 cm, totalizando 4,59 metros de largura de trabalho, da marca Khun.

O cenário (ii) foi gerado por meio do software AgroCAD®. Esse software funciona como um plug-in para funcionar dentro do software AutoCAD Civil 3D® (TECGRAF, 2023). O software AgroCAD, quando abastecido de dados geoespacializados, possui a capacidade de gerar diferentes cenários com linhas de orientações retas, fazendo uma verificação do ângulo 0 até 180°, apresentado para o analista informações sobre: número de manobras, comprimento médio das linhas, comprimento total e percentual de áreas semeadas morro abaixo. Assim, é possível selecionar a linha de orientação com menor número de manobras e maior comprimento médio, de modo a utilizar o sentido de operação que seja mais interessante, assim como criar manobras de cabeceira, para execução automática. Em nosso estudo, buscamos utilizar o sentido que demandaria menor tempo de execução, ou seja, aquele com menor número de manobras de cabeceira e maior comprimento médio das linhas. Porém, em nosso estudo a manobra automática de cabeceira não foi efetivamente utilizada, pois a manobra feita pelo operador no cenário i não ficou gravada, impossibilitando comparar os percursos feitos nas manobras. Com isso, considerou-se apenas que a automatização da manobra de cabeceira tem uma redução no tempo da mesma em 50%, saindo de 30 para 15 segundos, do cenário i para o ii (BOCHTIS; VOUGIOUKAS, 2008; HUSSEIN et al., 2021; TAMIRAT et al., 2022). Tendo ambos os cenários de semeadura, é possível então estimar quais as diferenças potenciais entre ambos os cenários. A figura 2 ilustra o sentido de semeadura de cada cenário dentro dos talhões, adotando vermelho para o cenário (i), e azul para o cenário (ii).

Figura 2 – Sentido adotado para cada cenário.



Legenda: vista aérea das linhas de orientação criadas pelo operador (vermelho) e pelo software (azul).

Fonte: Autores (2023).

Para a estimativa da capacidade operacional, em cada cenário, alguns elementos foram padronizados para execução dos cálculos. A eficiência operacional considera uma situação hipotética de 70%, ou seja, 70% do tempo em efetiva execução da semeadura e o restante de máquinas paradas por motivos diversos (abastecimento, manutenção, etc.) (GRISSE et al, 2004; PERIN, 2008). A primeira padronização foi para a velocidade média de operação, estabelecendo valor de 3 km.h⁻¹. A segunda padronização foi para o consumo médio de combustível, estabelecido junto ao proprietário do conjunto trator-semeadora, utilizando valor de 14 litros.hora⁻¹. Esses valores foram utilizados nas estimativas feitas em todos os talhões da Figura 1. Por fim, foi considerado que o arremate de cabeceira não seria realizado, de modo que em ambos os cenários a semeadura se deu sempre dentro das linhas de orientação, com as manobras sendo realizadas sobre estrada ou carreador. Vale ressaltar que, a operação de semeadura não foi efetivamente realizada no campo, sendo analisada em sua totalidade pelo software AgroCAD. Sendo assim, a capacidade operacional apresentada se aproxima da capacidade operacional efetiva que seria obtida, no campo, em cada cenário.

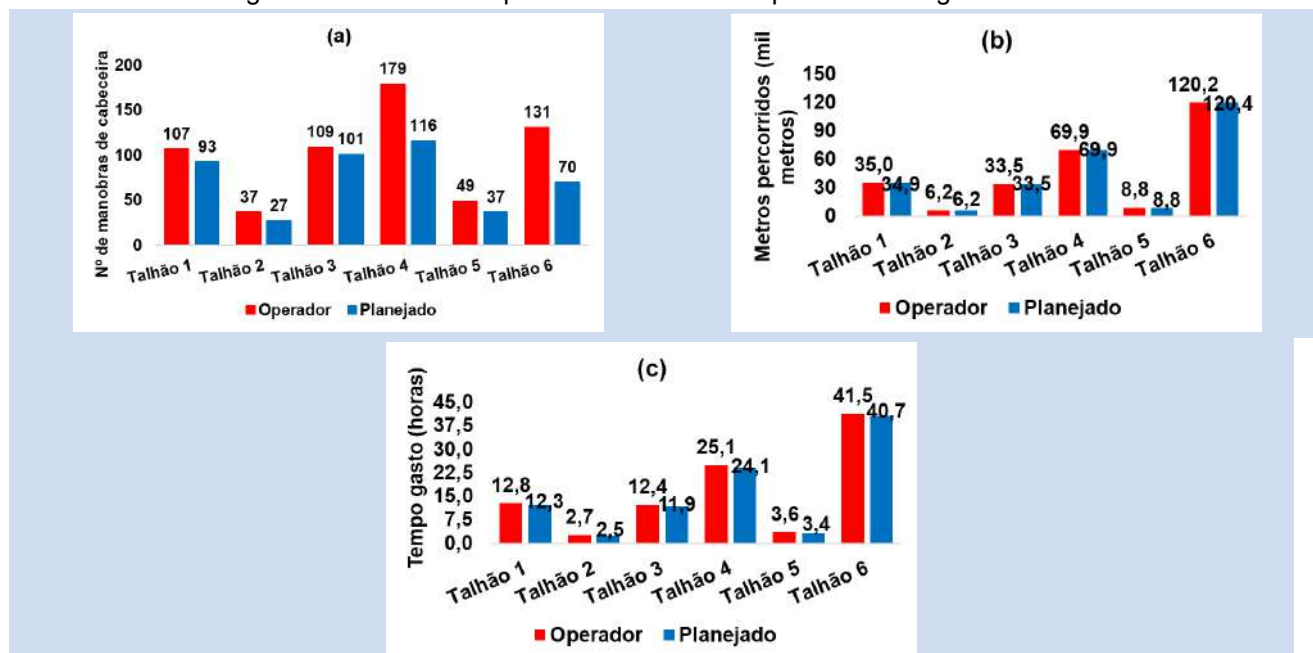
Após a padronização dos elementos gerou-se então as seguintes variáveis resposta: número de manobras de cabeceira, metros percorridos, tempo gasto (em horas), capacidade operacional (em ha.hora⁻¹), consumo de combustível (L.ha⁻¹) e custo com diesel na operação de semeadura (R\$.ha⁻¹), para ambos os cenários. Não se utilizou testes estatísticos de comparação de médias, sendo considerados os cenários possuindo valores absolutos e repetíveis ao longo do tempo. O consumo de combustível, nos dois cenários, foi estimado com base na capacidade operacional em conjunto com o consumo horário padronizado. A variável que representa o custo de diesel da operação de semeadura adotou o valor médio do litro de R\$ 5,04.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante iniciar a sessão comentando a respeito da geometria de contorno dos talhões. Geometrias com similaridade ao que seria um retângulo, usualmente, apresentam maior facilidade para o operador encontrar um sentido de operação onde há menor número de manobras de cabeceira, sendo que o sentido de menor número de manobras comumente apresenta maior comprimento médio das linhas. Esse tipo de geometria pode ser observado, por meio da Figura 1, nos talhões de número 2, 4, 5 e 6. Com isso, é esperado que nesses talhões a diferença entre o percurso planejado e o executado pelo operador seja pequena. Essa hipótese, comum no campo, dentre operadores, está representada na Figura 3.

Porém, essa hipótese não se mostrou verdadeira. Conforme Figura 3a, o talhão 6, por exemplo, que se configura com geometria similar a um retângulo é aquele que teve a maior redução na quantidade total de manobras, com a utilização do percurso planejado, seguido do talhão 4. Esses talhões saíram de um número de manobras de 131 para 70 e 179 para 116, representando redução de 46,56% e 35,2%, respectivamente. Nos demais talhões, apenas o talhão 5 apresentou redução no número de manobras maior que 20%, chegando ao valor de 24,49%. Os menores valores foram observados justamente nos talhões de geometria irregular, como o talhão 1 e 3.

Figura 3 – Variáveis resposta relacionadas ao percurso trafegado em cada cenário.



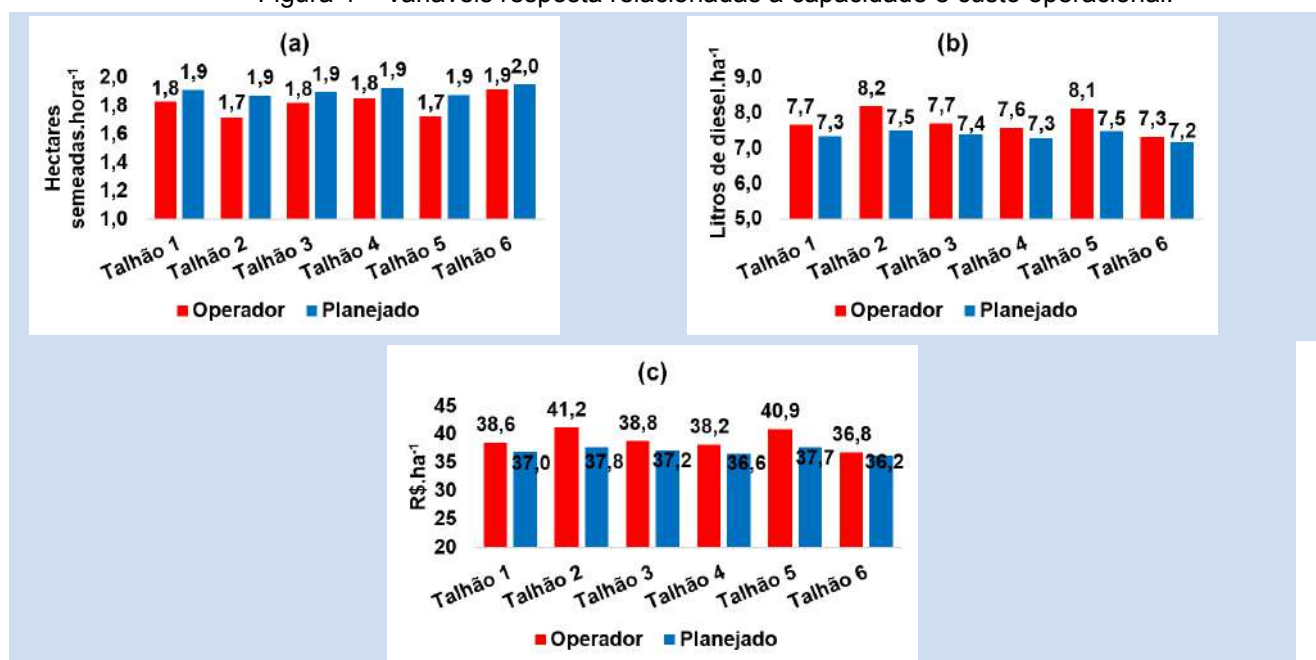
Legenda: (a) número total de manobras de cabeceira necessário para a semeadura de cada talhão; (b) metragem total percorrida para a semeadura de cada talhão; (c) tempo total gasto para a semeadura de cada talhão. Barras vermelhas representam o cenário i (operador) e azul o cenário ii (planejado).

Fonte: Autores (2023).

Importante atentar-se também para a Figura 3b, que representa o percurso total necessário para completar a semeadura, em cada cenário. O fato de planejar ou não o percurso, não repercute sobre o total percorrido, já que essa é uma relação unicamente dada pelo tamanho da área e a largura efetiva de trabalho do implemento. As pequenas diferenças observadas, em metros, podem ser atribuídas, por exemplo, ao fato de a escolha de um percurso pode implicar em que nas proximidades do limite do talhão, o implemento pode não estar usando toda sua largura efetiva. Nesse caso, em alguns momentos a semeadora estaria trabalhando com algumas linhas sobre a estrada, não realizando a semeadura na área útil para tal. Porém, o real impacto do planejamento e automatização do processo de semeadura pelo planejamento é observado no Figura 3c, que representa o tempo total para a operação em cada talhão.

Na média dos 6 talhões, o tempo total gasto foi reduzido em 3,34% com o uso do percurso planejado, podendo esse valor ultrapassar 7%, como aconteceu nos talhões 2 e 5, chegando a 7,38% e 7,26% de redução de tempo, respectivamente. A associação entre o número total de manobras e metragem percorrida é que condiciona o tempo total de operações, que tem implicações diversas na gestão das propriedades. Por exemplo, um menor tempo de execução de uma operação, permite que o tempo que seria utilizado em sua execução, possa ser utilizado em outras tarefas, como manutenção de frota, organização de insumos, dentre outros, culminando na eficiência da operação como um todo (HUSSEIN et al., 2021). Esse efeito está representado na Figura 4.

Figura 4 – Variáveis resposta relacionadas a capacidade e custo operacional.



Legenda: (a) capacidade operacional de semeadura em cada talhão; (b) consumo de combustível do conjunto trator-semeadora em cada talhão; (c) custo com combustível do conjunto trator-semeadora em cada talhão. Barras vermelhas representam o cenário i (operador) e azul o cenário ii (planejado).

Fonte: Autores (2023).

Tomando como base, inicialmente, a média geral dos talhões, o planejamento da operação aumentou a capacidade operacional em 4,85% (Figura 4a) e reduziu o consumo em 4,90% (Figura 4b e 4c). Os talhões 2 e 5 foram os que apresentaram maiores diferenças, chegando a 7,9% no aumento da capacidade operacional e 7,38% na redução do consumo. Novamente menciona-se a geometria do talhão e novamente talhões com geometria mais próxima de um retângulo são que apresentaram maiores diferenças, sendo assim os mais beneficiados pelo planejamento de tráfego. No que diz respeito ao custo da operação com combustível, o planejamento reduziu, em média, R\$2,87.ha⁻¹, chegando a uma redução de até R\$4,88.ha⁻¹. Além disso, há o benefício relacionado com a saúde do ambiente, dado pela redução do consumo de combustível. A redução no consumo de combustível impacta diretamente a emissão de gases do efeito estufa, reduzindo a quantidade de CO₂ equivalente emitido nas operações agrícolas (JANULEVIČIUS & ČIPLIENĖ, 2018).

Considerando uma jornada de trabalho de 12 horas, é possível afirmar que, em talhões como o 2 e o 5, o planejamento permite semear 1,02 ha.dia⁻¹ a mais. Caso essa diferença fosse replicada para a totalidade dos 125,61 ha estudados, a semeadura seria concluída, no cenário planejado, um dia antes do cenário criado pelo operador. Para o cenário criado pelo operador, seria necessário semear 8,24 ha em um dia adicional. Nesse caso, tomando como base o trabalho de Sartori et al. (2013), o decréscimo de produtividade, em função da data de semeadura, pode chegar a 28,93 kg.ha⁻¹.dia⁻¹. Com isso, o planejamento da operação poderia preservar, 98,4 kg de arroz.ha⁻¹, sendo esse um benefício adicional ou secundário, que pode ou não se dar, em função do ano agrícola. Com isso, esse valor atribuído à produtividade da cultura, pode ser contabilizado, de acordo com o valor pago pelo arroz, aumentando assim a receita pelo uso do planejamento da operação.

Contudo, é pertinente assumir que, embora haja benefício, o planejamento da operação não apresenta um potencial de ganho econômico expressivo, quando tratado isoladamente, em

situação de semeadura em linhas retas. O benefício financeiro deve ser subtraído de um investimento necessário ao produtor, já que esse precisa investir na compra de softwares ou mesmo adquirir serviço terceirizado para executar o planejamento, o que pode alongar o retorno do seu investimento. Porém, é preciso considerar que em situação distintas da cultura do arroz, como é o caso de culturas anuais em sistema plantio direto, ou mesmo na cana-de-açúcar, o planejamento está inserido em um conceito mais complexo, que é o tráfego controlado (HUSSEIN et al., 2021). Nesse caso, o planejamento prévio permite, dentre outros benefícios, realizar semeadura em contorno, assim como confina o tráfego das máquinas, reduzindo compactação e erosão do solo, assim como aumenta sua capacidade de retenção de água.

4. CONCLUSÃO

O planejamento prévio da semeadura se mostra eficiente, principalmente em talhões com geometria próxima de um retângulo, reduzindo a quantidade de manobras de cabeceira e, com isso, acaba trazendo redução no consumo de combustível e aumento da capacidade operacional, na semeadura. O aumento da capacidade operacional melhora o aproveitamento da janela de semeadura, podendo, assim, preservar parte da produtividade do arroz.

REFERÊNCIAS

- BERTOLLO, G. M.; SCHLOSSER, J. F.; BERTINATTO, R.; FARIAS, M. S.; MARTINI, A. T.; SANTOS, G. O. Tráfego controlado de máquinas em comparação ao aleatório no desempenho de trator em semeadura. **Revista Agrarian**, v.12, n.46, p.479-486, 2019.
- BOCHTIS, D. D.; VOUGIOUKAS, S. G. Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. **Biosystems Engineering**, v. 101, p. 1–12, 2008.
- CUPIAŁ, M.; SZELAĞ-SIKORA, A.; NIEMIEC, M. Optimisation of the Machinery Park with the Use of OTR-7 Software in Context of Sustainable Agriculture. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 7, p. 64-69, 2015.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília: Embrapa, 2018.
- GRISSE, R. D. KOCHER, M. F. ADAMCHUK, V. I. JASA, P. J. SCHROEDER, M. A. Field Efficiency determination using traffic pattern Indices. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, p 563-572, 2004.
- HUSSEIN, M. A.; ANTILLE, D. L.; KODUR, S.; CHEN, G. Controlled traffic farming effects on productivity of grain sorghum, rainfall and fertiliser nitrogen use efficiency. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 3, 100111, 2021.
- JANULEVIČIUS, J.; ČIPLIENĖ, A. Estimation of engine CO₂ and NO_x emissions and their correlation with the not-to-exceed zone for a tractor ploughing fields of various sizes. **Journal of Cleaner Production**, v. 198, p. 1583-1592, 2018.

MARIN, F. R.; ZANON, A. J.; MONZON, J. P.; ANDRADE, J. F.; SILVA, E. H. F. M.; RICHTER, G. L.; ANTOLIN, L. A. S.; RIBEIRO, B. S. M. R.; RIBAS, G. G. Protecting the Amazon forest and reducing global warming via agricultural intensification. **NATURE SUSTAINABILITY**, v. 1, p. 1-20, 2022.

MOLIN, J.P.; POVH, F. P.; DE PAULA, V. R.; SALVI, J. V. Método de Avaliação de equipamentos para direcionamento de veículos agrícolas e efeitos de sinais GNSS. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.121-129, 2011.

NAKATA, Y.; IWASAKI, K.; SHIMODA, S.; TORITA, H. Understanding microtopography changes in agricultural landscapes through precision assessments of digital surface models by the UAV-RTK-PPK method without ground control points. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, 100269, 2023.

PERIN, G. F. Determinação da capacidade e eficiência operacional utilizando técnicas de agricultura de precisão. 2008. **Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, 2008. 114p.

SARTORI, G. M. S.; MARCHESAN, E.; AZEVEDO, C. F.; STRECK, N. A.; ROSO, R.; COELHO, L. L.; OLIVEIRA, M. L. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v.43, n.3, p.397-403, 2013.

SHIOGA, P. S.; GERAGE, A. C. Influência da época de plantio no desempenho do milho safrinha no estado do paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.3, p.236-253, 2010.

TECGRAF. **AgroCAD - Solução completa em projetos para Agricultura de Precisão**. Disponível em: < <https://tecgraf.com.br/agrocad/> >. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

TAMIRAT, T. W.; PEDERSEN, S. M.; FARQUHARSON, J.; BRUIN, S.; FORRISTAL, P. D.; SØRENSEN, C. G.; NUYTTENS, D.; PEDERSEN, H. H.; THOMSEN, M. N. Controlled traffic farming and field traffic management: Perceptions of farmers groups from Northern and Western European countries. **Soil & Tillage Research**, V. 217, 105288, 2022.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and Management Factors Influence Soybean Yield Potential in a Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1447-1454, 2016.

LEVANTAMENTO DE TECNOLOGIAS DE DEPOSIÇÃO E CONDUÇÃO ATIVA DE SEMENTES APLICADAS EM SEMEADORAS DE PRECISÃO

Survey of seed deposition and active conduction technologies applied in precision seeders

Bruno Garlet Alberti¹; Vinicius Kaster Marini²

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia -
Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil.

bruno.garlet@acad.ufsm.br

² Ph.D. Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia - Av. Roraima, 1000, Prédio 10, Sala
402G 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil. vinicius.marini@ufsm.br

RESUMO

A produção de grãos é um setor essencial para a economia brasileira, pois fornece alimentos, gera empregos, impulsiona a inovação tecnológica e contribui para a balança comercial do país. Dessa forma, a necessidade por uma semeadura precisa, de maneira ágil em relação às existentes no mercado atual, se vê a necessidade de um sistema dosador com mecanismos condutores mais eficientes. O objetivo geral deste trabalho é estudar soluções de semeadura que reivindicam qualidades relacionadas à entrega de sementes sobre o sulco de maneira uniforme. Esta pesquisa de caráter descritivo é executada pelos métodos de levantamento e pesquisa documental considerando pesquisa de anterioridade sobre invenções relacionadas à singulação e à entrega de sementes. A pesquisa é complementada por um estudo do estado da arte em semeadoras precisas, atualmente disponíveis no mercado. A partir da conjunção destes estudos, foi possível definir uma estrutura funcional para a deposição e entrega de sementes identificando atributos particulares nas semeadoras que determinam suas características de precisão.

Palavras-chave: Semeadura precisa. Dosadores e condutores. Pesquisa de anterioridade.

ABSTRACT

Grain production is an essential sector for the Brazilian economy, as it provides food, creates jobs, drives technological innovation and contributes to the country's trade balance. As a result, the need for precise, agile sowing in relation to that available on the current market has led to the need for a metering system with more efficient conductive mechanisms. The general aim of this work is to study seeding solutions that claim qualities related to delivering seeds evenly over the furrow. This descriptive research is carried out using survey and documentary research methods, considering previous research on inventions related to seed sowing and delivery. The research is complemented by a study of the state of the art in precision seed drills currently available on the market. From the combination of these studies, it was possible to define a functional structure for depositing and conducting seeds, identifying particular attributes in seed drills that determine their precision characteristics.

Keywords: Precise planting. Meters and seed tubes. Patent research.

1. INTRODUÇÃO

A produção de grãos é um setor essencial para a economia brasileira, fornecendo alimentos, gerando empregos, impulsionando a inovação tecnológica e contribuindo para a balança comercial do país. De acordo com a projeção do Agronegócio brasileiro, realizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, para 2032/2033, a produção de grãos no Brasil alcançará 389,3 milhões de toneladas, representando aumento de 24,1% em relação à safra atual, que está estimada em 313,8 milhões de toneladas. Além disso, a área destinada ao cultivo de grãos deve aumentar em 19,1% entre os anos de 2022/23 e 2032/33, passando de 77,5 milhões de hectares em 2022/23 para 92,3 milhões de hectares em 2032/33 (MAPA, 2023). Esses

resultados indicam a tendência de crescimento com ganhos significativos de produtividade na agricultura brasileira.

A semeadura é um dos fatores primordiais que influenciam o rendimento das culturas, juntamente com os equipamentos utilizados no processo. A precisão do plantio desempenha papel fundamental na eficiência do uso da terra, pois todo o processo produtivo depende dos resultados alcançados durante essa etapa. Por essa razão, a pesquisa em mecanismos e tecnologias que possibilitem um plantio mais preciso tem sido de grande interesse nas últimas décadas, especialmente devido à tendência contínua de crescimento da produção agrícola brasileira, com projeções futuras promissoras.

Nesse contexto, o desenvolvimento de semeadoras com tecnologia de ponta está em alta demanda, visando aprimorar a inteligência de plantio implementada no conjunto de linhas da semeadora. Essa inteligência permite que as sementes sejam depositadas no sulco de plantio de forma regular e posicionadas em condições ideais de crescimento, otimizando o estabelecimento da lavoura.

Este trabalho consiste em um estudo da arte das semeadoras de plantio direto existentes no mercado, considerando uma análise quanto aos componentes que influenciam na singulação, dosagem e entrega de sementes. Com objetivo de identificar os fatores de influência do percurso da semente em função da sua equidistância, e melhoramento na produtividade a partir do processo de semeadura precisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura tem como propósito introduzir conceitos e fontes de referência relacionados aos elementos que afetam o aprimoramento do processo de semeadura, abrangendo a capacidade de plantio eficaz, bem como a exploração das soluções existentes no contexto da excelência no plantio. A análise dos sistemas presentes em equipamentos agrícolas e suas melhorias almeja evidenciar as tecnologias disponíveis no mercado, com o intuito de ilustrar os avanços no campo da semeadura.

2.1 FUNÇÕES DA SEMEADORA

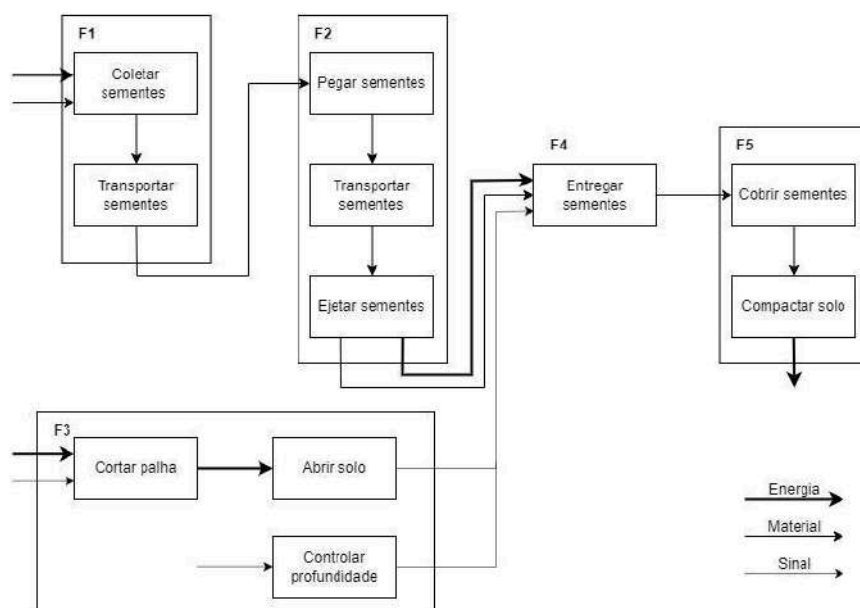
A identificação das funções essenciais de uma semeadora foi feita por (Reis; Forcellini, 2002), em seu estudo conceitual de semeadoras comercializadas no Brasil. A metodologia utilizada dividiu o processo de projeto em: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, por meio de uma análise dos mecanismos e informações disponíveis em guia do usuário ou catálogos do produtor, sem necessidade de testes em campo e desmontagem de componentes. Dessa forma, os autores salientam a importância da dosagem e condução da semente até o fundo do sulco, que normalmente é realizada com auxílio da gravidade sobre a semente, enquanto em alguns casos por jato de ar dentro do tubo condutor.

As definições das funções essenciais da semeadora possibilitam estabelecer a função global e estrutura funcional em diagramas de blocos de uma semeadora através de sistemas técnicos existentes. Estes sistemas podem ter relações aproximadas com a identificação dos requisitos de projeto, de modo que a estrutura funcional seja conhecida e o problema principal reside na descoberta de melhores soluções (Reis, 2003).

Do ponto de vista de semeadoras (Stefanello, 2013), estabelece a função global de uma semeadora manual, considerando aplicação de metodologia de projeto de produto, assim como mencionado no trabalho de (Reis; Forcellini, 2002), mostrada na Figura 1. Este desenvolvimento teve como função global “semear com precisão e qualidade”, ou seja, adequando todas as

situações relacionadas às funções e restrições da semeadora, as quais originam de possíveis necessidades, desejos e restrições dos usuários.

Figura 1 – Funções parciais de uma semeadora de precisão



Fonte: Adaptado de Reis & Forcellini (2002)

A abordagem sobre o desenvolvimento de semeadoras precisas considera métricas de capacidade e eficiência, como também avalia recursos funcionais disponibilizados pelo propósito das soluções para otimizar a entrega de parâmetros de atuação de semeadura. Nesse contexto, a verificação dos requisitos aplicáveis ao projeto pode ser orientada pelas características e os fatores que influenciam na qualidade da semeadura. Esses fatores são percebidos como fatores de influência no projeto (Romano, 2003; Marini, 2007), pela caracterização de diversos elementos presentes no meio onde as máquinas agrícolas estão inseridas, que influenciam o desempenho da operação.

2.2. PLANTABILIDADE

De acordo com (Hörbe; Grave, 2021), a essência da concepção de plantabilidade reside na compreensão de que cada planta, no espaço que ocupa, constitui uma unidade de produção que contribuirá para a produtividade total da área cultivada. Nesse contexto, ele avaliou a variabilidade na disposição das plantas ao longo da linha, identificou e quantificou os efeitos sobre a produtividade. O experimento utilizou duas cultivares de soja, apresentando os resultados de máximo potencial produtivo em proporção à regularidade de espaçamento longitudinal. Os resultados expressaram uma penalização na produtividade da soja de 96 kg ha⁻¹ e 116 kg ha⁻¹ respectivamente para cada centímetro de desvio acima do espaçamento adequado entre plantas.

Vários trabalhos têm mostrado que a produtividade é diretamente afetada pela velocidade de semeadura, pois esse fator está associado à regularidade da distribuição longitudinal das sementes. Bertelli *et al.* (2016), mostram o desempenho da plantabilidade de semeadoras pneumáticas considerando variações de velocidade de plantio, avaliando dois modelos de semeadoras John Deere (BT2117 e DB74). No experimento, o ajuste de ambas as semeadoras foi configurado para uma distribuição média de 10,2 sementes m⁻¹, as passagens de plantio incluíram velocidades de (V1 = 5,6 km h⁻¹, V2 = 7,0 km h⁻¹, V3 = 8,6 km h⁻¹ e V4 = 10,0 km h⁻¹). Logo, para

ambas as semeadoras, a proporção de espaçamentos considerados adequados diminuiu à medida que a velocidade de deslocamento aumentou. Além disso, os espaçamentos duplicados aumentam à medida que a velocidade aumenta, resultando em uma redução na uniformidade do plantio.

Taveira *et al.* (2022), analisam a distribuição longitudinal de sementes sob ação de diferentes tubos condutores e velocidade de semeadura a fim de identificar a influência das geometrias do tubo condutor sobre a condução da semente ao sulco. O estudo foi realizado com quatro tubos distintos: T1 da marca J.Assy, com ângulo de 15,3°, T2 e T3 da marca Jumil com ângulos respectivamente de 15,6° e 11,7°, e por fim T4 da marca Semeato e ângulo de 0°, todos submetidos a três velocidades de semeadura: 5 km/h, 7 km/h e 9 km/h. O experimento possibilitou identificar que todos os tubos apresentaram o percentual de falha aumentado com a velocidade de semeadura, embora não tenham sido consideradas as vibrações naturais da máquina que afetam a distribuição.

Enquanto isso, Carpes *et al.* (2017) realizaram um estudo semelhante sob análise dos efeitos de seis tubos condutores para verificar a distribuição longitudinal de sementes de milho. Esses tubos apresentavam geometrias e dimensionamentos diferentes entre si, como também variações no ângulo de descarga da semente. O estudo procedeu com a utilização de dois dosadores de sementes, variando os tubos condutores e combinados variação de quatro velocidades periféricas para os discos do dosador. Além disso, houve alteração na taxa de densidade de semeadura de 60, 70, 80 e 90 mil sementes por hectares. Contudo, os autores concluíram que, ao aumentar a taxa de semeadura para uma mesma velocidade de avanço, houve redução no percentual de espaçamentos aceitáveis, sendo este efeito mais acentuado quando utilizados tubos condutores de pequeno diâmetro e perfil reto. Por fim, encontrou melhores resultados de distribuição para um tubo condutor com ângulo de saída de 30°.

3. METODOLOGIA

O primeiro passo para desenvolvimento deste estudo foi a identificação dos conceitos de semeadoras precisas existentes no mercado do Agronegócio. A identificação dos conceitos foi realizada através da pesquisa de propriedades relativas aos subsistemas de dosagem/singulação de sementes e sua entrega ao sulco de plantio sobre o solo. Complementa este levantamento a análise documental de patentes por meio da plataforma “Orbit Intelligence”, para avaliar o estudo do estado da arte sobre as tecnologias de distribuição e entrega de sementes no sulco de semeadura.

A pesquisa de anterioridade permitiu analisar várias concepções entre sistemas dosadores e tubo condutores. A partir dos princípios encontrados, foi feita a avaliação dos fatores que influenciam o deslocamento da semente durante a operação, considerando a dinâmica da semente no interior dos componentes até a entrega ao sulco de semeadura. A decomposição funcional de elementos parciais da semeadora de precisão foi executada com base em metodologia de engenharia reversa a partir do projeto conceitual (Otto & Wood, 1998).

Após o estabelecimento das definições identificadas foi possível inferir sobre as propriedades de cada conceito de semeadoras utilizadas em plantio preciso, em relação aos fatores de influência pertinentes à operação de plantio. Desta forma, buscou-se classificar os sistemas de acordo com as máquinas agrícolas, seus componentes, considerando estado da arte e os fatores que influenciam sobre o controle da trajetória das sementes.

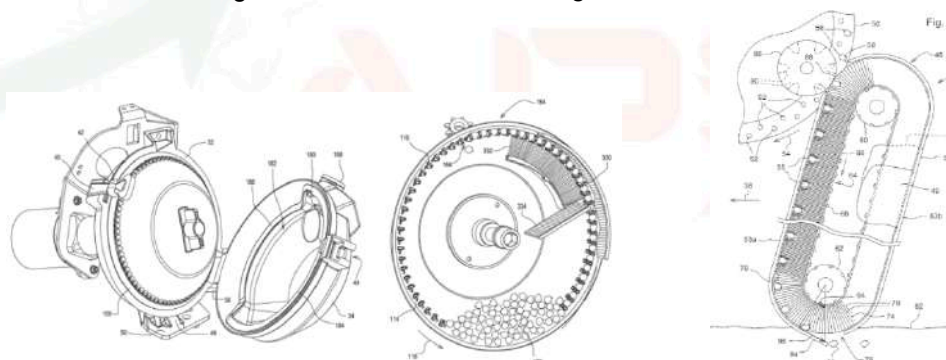
4. RESULTADOS

O ato de guiar ativamente as sementes, desde o ponto de dosagem até a colocação individual em seu leito de semeadura, representa uma inovação notável no cenário das semeadoras de alta precisão. A introdução desse tipo de solução surge da motivação de solucionar os fatores geradores de incerteza associados aos parâmetros de plantio encontrados nas abordagens que dependem do uso da gravidade. Os dispositivos dosadores, de uma forma ou de outra, estão sujeitos a movimentos verticais ocasionados pelos desníveis do terreno e às variações na inclinação do solo; a eficácia dos métodos de condução por gravidade apresenta variações consideráveis conforme a velocidade de deslocamento da semeadora pelo campo (Carpes, et al., 2017).

As tecnologias mais recentes de dosadores utilizam pressurização de ar para manter as sementes em movimento sobre as cavidades do disco dosador. Essa forma de pressurização pode ser configurada em pressão negativa, na qual o vácuo succiona as sementes contra os alvéolos/cavidades do disco dosador, ou na forma de pressão positiva, onde o fluxo de ar mantém as sementes pressionadas contra a cavidade do disco dosador.

O sistema *ExactEmerge* (John Deere), ilustrado na Figura 2, representa a concepção do mecanismo de dosagem elétrico de sementes. Este mecanismo utiliza um diferencial de pressão de ar, ou seja, vácuo, para aderir a semente sobre um elemento de dosagem. O agrupamento de sementes é posicionado em um lado do disco côncavo, em uma porção inferior do mesmo, enquanto o vácuo é aplicado no lado oposto do disco.

Figura 2 – Sistema *ExactEmerge*, John Deere



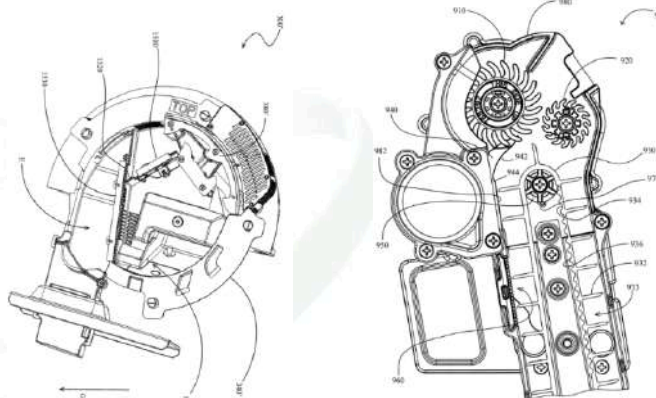
Fonte: (GARNER et al., 2011; THIEMKE et al., 2010)

BR 112013024397 - 0 B1; BR PI1000054 - 2 A2 (John Deere).

À medida que o disco gira, as sementes individuais do conjunto são aderidas pelo vácuo às aberturas que se estendem através do disco. Quando a semente atinge a posição de liberação, o vácuo cessa e permite guiar a semente para o tubo condutor. A condução da semente até o sulco aberto é um fator delicado, tendo em vista a dificuldade de manter um espaçamento de sementes preciso e consistente em velocidades de semeadura superiores a 8 km/h. Para isso, o conjunto inclui um elemento condutor de sementes através de escovas, que possibilita a entrega da semente para o solo com maior precisão (à direita na Figura 2). Este princípio transporta a semente para baixo até o ponto onde ela será liberada ao solo e projeta a semente horizontalmente para trás a uma velocidade equivalente à velocidade de deslocamento para frente da máquina, de tal maneira que a semente descarregada tem velocidade horizontal próxima de zero em relação ao solo.

O modelo de dosador *Vset* e tubo condutor *Speed Tube* elétrico desenvolvido pela empresa *Precision Planting* são apresentados na Figura 3. Este sistema de dosagem opera a vácuo e busca melhorar a singulação através de um singulador flutuante que mantém contato com o disco de sementes. Além disso, o dosador é compatível com diferentes tubos condutores, possibilitando que a semente seja deslocada até o sulco por gravidade ou por controle de velocidade da semente que é o caso do “*Speed Tube*”, que oferece uma tecnologia de transporte da semente por esteira flexível.

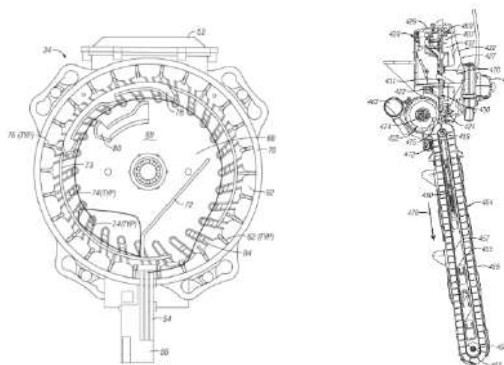
Figura 3 – Sistema *Vset* e *Speed Tube* (*Precision Planting*)



Fonte: (TIM; RADTKE 2017; RADTKE; SWANSON 2018)
US 9861025 B2; US 10765057 B2 (*Precision Planting*).

Outra solução de dosagem e entrega de sementes é produzida pela *Kinze Manufacturing* nos EUA com o nome *True Speed*, como mostrada na Figura 4. Este modelo consta de um dosador elétrico posicionado transversalmente em relação ao sentido de percurso da semeadora que utiliza vácuo para manter as sementes alocadas sobre o disco do dosador, raspadores para individualizar as sementes e um diferencial que é a forma de transporte da semente do disco dosador até o tubo condutor, fator que afeta na singularização da entrega da semente. Este sistema de transporte é realizado através de uma escova cuja entrega do dosador possui velocidade controlada, enquanto o transporte da semente sobre o tubo condutor ocorre através de um sistema de esteira flexível que faz a entrega da semente sobre o sulco de semeadura aberto.

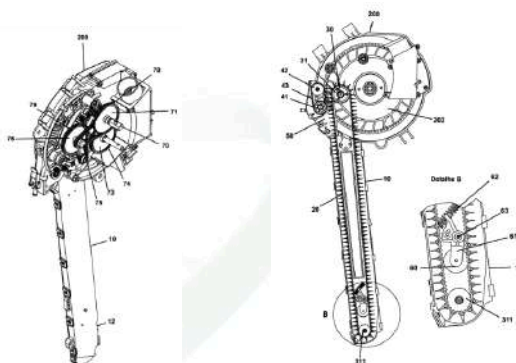
Figura 4 – Sistema *True Speed* (*Kinze Manufacturing*)



Fonte: (WILHELMI et al., 2018)
BR 112020006264 - 2 A2 (*Kinze Manufacturing*).

A empresa *TOPlanting* é desenvolvedora de um sistema dosador à vácuo e condutor conhecido no mercado brasileiro como *VControl* e está apresentado na Figura 5. Este sistema apresenta um sistema dosador a vácuo dotado de uma transmissão por correntes que permite a movimentação de todo o sistema de dosagem. Além disso, o sistema consta de uma placa guia que direciona as sementes até o duto condutor que é composto por correia talisca cuja denominação é dada pela empresa. O conjunto como um todo, objetiva conduzir as sementes até o solo limitando a aceleração da gravidade e impedindo a deposição imediata e desuniforme na linha de semeadura.

Figura 5 – Sistema *VControl* (*TOPlanting*)

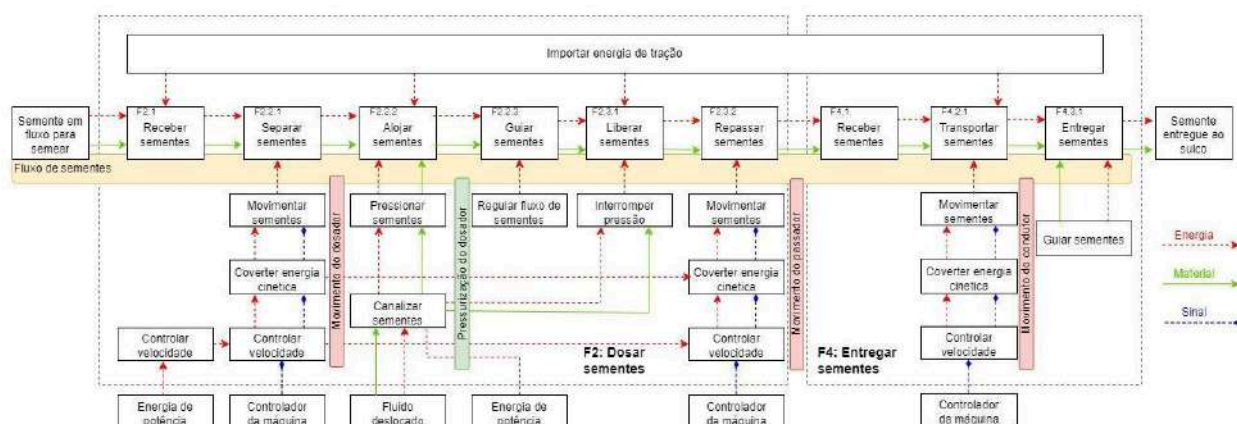


Fonte: (SILVA; NOER, 2019)
BR 112021001297 - 4 A2 (*TOPlanting*).

A partir da estrutura de funções parciais para semeadura (Reis; Forcellini, 2002) foi possível estabelecer a estrutura de funções elementares, organizada desde duas funções parciais: “F2 Dosar sementes” e “F4 Depositar sementes”, como expresso na Figura 1. A decomposição das ações sofridas pela semente e dos princípios de trabalho auxiliares resultou em diferentes ações pertinentes aos seguintes processamentos como mostrados na Figura 6: o fluxo principal de sementes (dourado) através do dosador e elemento condutor (ativo), o fluxo de ar (verde) pressurizando a cavidade do dosador, e os fornecimentos de energia mecânica (vermelho) para o fluxo de dosagem de sementes através do dosador e do elemento condutor.

A identificação de componentes principais permitiu determinar ações necessárias para efetuar as funções parciais F2 (Dosar sementes) e F4 (Depositar sementes) com qualidade e precisão. Dessa forma, as funções parciais são decompostas conforme o exemplo: F2.1 (Receber sementes) caracteriza o recebimento da semente no dosador; F2.2.1 (Separar sementes) define o processo de individualização das sementes; F2.2.2 (Alojar sementes) estabelece a função de alojar as sementes nos alvéolos do disco dosador; F2.2.3 (Guiar sementes) identifica-se o ato de guiar as sementes sobre a velocidade tangencial do disco dosador; F2.3.1 (Liberar sementes) retrata a ação de interromper o fluxo de vácuo para liberação da semente do disco dosador e F2.3.2 (Repassar sementes) refere-se ao repasse da semente entre dosador e tubo condutor. Decomposição semelhante é feita para a função “F4 Entregar sementes”, cujo resultado é visível na Figura 6.

Figura 6 – Estrutura funcional das subseções de dosagem e condução ativa de sementes



Fonte: Autores (2023).

Assim sendo, a análise das soluções de dosadores e transportadores de sementes disponíveis no mercado resulta no entendimento da cadeia de ações necessárias para efetuar a condução controlada da descida da semente, incluindo a dosagem das sementes, a passagem delas entre o dosador e o elemento condutor, bem como o transporte da semente pelo elemento condutor até o sulco de plantio. Para trabalhos futuros pretende-se determinar uma modelagem matemática do deslocamento da semente pelo tubo condutor possibilitando encaminhar oportunidades para melhorar a distribuição de sementes e efetuar a semeadura direta, e precisa, com maior agilidade.

5. CONCLUSÃO

A presente análise comparativa do estado da arte de dosadores e tubos condutores de sementes permitiu identificar critérios relativos à utilização da análise funcional na avaliação do desempenho das semeadoras de alta precisão em relação às tecnologias disponíveis no mercado. Inicialmente, foi observada a necessidade de uma condução controlada das sementes, desde o processo de dosagem até o sulco de plantio. Isso pode ser alcançado através de diferentes mecanismos, como o uso de escovas no caso do sistema *ExactEmerge* (John Deere), esteiras flexíveis nos produtos *SpeedTube* (*Precision Planting*) e *True Speed* (*Kinze Manufacturing*), e a solução *VControl* (*TOPlanting*), que utiliza taliscas para guiar as sementes até o sulco de semeadura.

Nesse contexto, foi possível determinar uma estrutura funcional para apresentar as subfunções “F2 Dosar sementes” e “F4 Entregar sementes”, estabelecendo ações determinísticas e fatores de influência de entrega de sementes ao sulco de semeadura com controle, qualidade e precisão. Observou-se a grande dificuldade de se tornar um sistema de dosadores e condutores síncronos, a fim de poder ter um controle preciso sobre o deslocamento das sementes. Acredita-se que, para trabalhos futuros, é importante relacionar a sincronização de velocidades de deslocamento da semente correspondente com a velocidade do dosador e o transporte para entrega até o sulco. Além disso, entende-se a necessidade de promover um meio de aceleração das sementes para adequar a velocidade de deslocamento do implemento, ou seja, tornar a velocidade resultante da semente quando descarregada com velocidade horizontal lenta, ou zero, em relação ao solo.

REFERÊNCIAS

- BERTELLI, Guilherme Augusto et al. Desempenho da plantabilidade de semeadoras pneumática na implantação da cultura da soja no cerrado piauiense-Brasil. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science/Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, 2016.
- CARPES, Dauto P. et al. Effect of different conductor tubes on the longitudinal distribution of corn seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 657-662, 2017.
- GARNER, Elijah B et al. **Seed meter for a seed machine**. Depositante: Deere & Company. BR 112013024397 – 0 B1. Depósito: 23 mar. 2012. Concessão: 26 fev. 2019.
- HÖRBE, Tiago de Andrade Neves; GRAVE, Fernando Luis. **CCGL Pesquisa e Tecnologia**. Cruz Alta – RS, 2021.
- MARINI, V. K. Fatores de influência e funções técnicas no projeto de máquinas agrícolas: uma contribuição teórica. **Dissertação de Mestrado**—Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
- MAPA, Ministério da Agricultura e Pecuária. **Projeções do Agronegócio Brasil – 2022/23 a 2032/33**. Brasília – 2023.
- NOER, Miguel Humberto. **Vacuum seed dosing and transporting system applied to a seeder**. Depositante: Marcio Luiz Neuvald Silva. BR 112021001297 – 4 A2. Depósito: 21 jun. 2018. Concessão: 27 abr. 2021.
- OTTO, Kevin N.; WOOD, Kristin L. Product evolution: a reverse engineering and redesign methodology. **Research in engineering design**, v. 10, p. 226-243, 1998.
- QUESTEL Co. **Orbit Intelligence**. Disponível em: <https://www.questel.com/patent/ip-intelligence-software/orbit-intelligence/>. Acesso em Ago. 2023.
- REIS, Ângelo Vieira dos; FORCELLINI, Fernando Antônio. Functional analysis in the evaluation of four concepts of planters. **Ciência Rural**, v. 32, p. 969-975, 2002.
- REIS, A. V. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. 2003. 156 f. 2003. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ROMANO, L. N. Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas. **Tese de Doutorado**—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- STEFANELLO, Giusepe et al. Estrutura funcional de uma semeadora de tração humana. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1583-1588, 2014.
- TAVEIRA, Wesley Matheus Cordeiro Fulgêncio et al. Longitudinal distribution of seeds under the action of different conductor tubes and sowing speeds. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 30, n. Contínua, p. 403-411, 2022.
- THIEMKE, Daniel Bruce et al. **Seed machine, planter row unit, method of distributing seed from a seed doser to soil, and, seed disk**. Depositante: Deere & Company. BR PI100054 – 2 A2. Depósito: 27 jan. 2010. Concessão: 29 mar. 2011.
- TIM, Schaefer; IAN, Radtke. **Seed planting apparatus, systems and methods**. Depositante: Precision Planting. US 9861025 B2. Depósito: 12 mai. 2017. Concessão: 09 jan. 2018.
- IAN, Radtke; SWANSON, Todd. **Seed delivery apparatus, systems, and methods**. Depositante: Precision Planting. US 10765057 B2. Depósito: 14 jan. 2018. Concessão: 08 sep. 2020.
- WILHELMI, Matthew et al. **Planter with high speed seed delivery apparatus**. Depositante: Kinze Manufacturing. BR 112020006264 – 2 A2. Depósito: 28 set. 2018. Concessão: 06 out. 2020.

DESEMPENHO DA PULVERIZAÇÃO COM DRONE EM DIFERENTES ALTURAS E VELOCIDADES DE VOO

Drone spraying performance at different heights and flight speeds

Alberto Eduardo Knies¹; Vilmar Tafernaberri Júnior¹; Zanandra Boff de Oliveira²; Eduardo Leonel Bottega²

¹ Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade da Uergs em Cachoeira do Sul, R. Sete de Setembro 1040, 96508-010, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, alberto-knies@uergs.edu.br, vilmar-junior@uergs.edu.br

² Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, Rodovia Taufik Germano 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, zanandra.oliveira@ufsm.br, eduardo.bottega@ufsm.br

RESUMO

O uso de drones para pulverização agrícola tem despertado interesse tanto nos profissionais técnicos quanto nos produtores rurais, sendo uma opção para competir com os pulverizadores agrícolas terrestres e a aviação agrícola. Diante disso, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho da pulverização com uma RPA/drone bimotor da marca XAG modelo V40 em diferentes alturas e velocidades de voo. Foram realizadas avaliações à campo, na Estação Agronômica da Uergs localizada em Cachoeira do Sul - RS, do desempenho da pulverização de drone voando em três alturas (3,0; 4,5 e 6,0 m) e três velocidades (4,0; 6,0 e 8,0 m.s⁻¹) em uma faixa de aplicação de 10 m. Para avaliar o desempenho da pulverização foram utilizados cartões hidrossensíveis, os quais foram analisados com auxílio do Software DropLeaf, sendo avaliados o número de gotas, o diâmetro médio das gotas e o índice de área de cobertura (IAC). O número de gotas que atingiram os cartões hidrossensíveis e o diâmetro médio das gotas não apresentaram diferenças significativas e, o maior IAC foi obtido na altura de voo de 3,0 m e velocidade de 4,0 m.s⁻¹.

Palavras-chave: VANTs; drones para pulverização agrícola; novas tecnologias na agricultura.

ABSTRACT

The use of drones for agricultural spraying has aroused interest among both technical professionals and rural producers, being an option to compete with land-based agricultural sprayers and agricultural aviation. Therefore, the objective of this work is to evaluate the spraying performance with a twin-engine RPA/drone from the XAG model V40 brand at different heights and flight speeds. Field evaluations were carried out, at the Uergs Agricultural Station located in Cachoeira do Sul - RS, of the performance of drone spraying flying at three heights (3.0; 4.5 and 6.0 m) and three speeds (4.0 ; 6.0 and 8.0 m.s⁻¹) in an application range of 10 m. To evaluate the spraying performance, hydrosensitive cards were used, which were analyzed with the aid of DropLeaf Software, evaluating the number of drops, the average diameter of the drops and the coverage area index (IAC). The number of drops that reached the hydrosensitive cards and the average diameter of the drops did not show significant differences and the highest IAC was obtained at a flight height of 3.0 m and a speed of 4.0 m.s⁻¹.

Keywords: UAVs, drones for agricultural spraying; new technologies in agriculture.

1. INTRODUÇÃO

Um marco na evolução humana foi o desenvolvimento da agricultura, que surgiu quando os homens deixaram de ser nômades, fixando-se em determinado lugar, resultando em uma nova forma de obtenção de alimentos, que não fossem apenas fornecidos espontaneamente pela natureza. Com isso, o homem começa a produzir seu próprio alimento, plantando sementes na

terra, cultivando alimentos e criando animais, por esta razão inicia-se o sistema de cultivos de alimentos (MAZOYER; ROUDART, 2010).

A revolução verde foi um grande salto na evolução agrícola, pois apresentou um conjunto de inovações tecnológicas no campo da agricultura, como fertilizantes, agrotóxicos, seleção de sementes, entre outras melhorias. Estas inovações permitiram um expressivo aumento na produção de alimentos, porém gerou uma série de impactos ambientais, os quais limitariam novamente o sistema de cultivo até então adotado. Este cenário exigiu o desenvolvimento de novas tecnologias, visando mitigar os impactos ambientais e aumentar a produção agrícola, garantindo a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental (ALBERGONI; PELAEZ, 2007).

A agricultura vêm evoluindo com o passar dos anos, marcando cada fase como: Agricultura 1.0 que utilizava a tração animal para desenvolvimento das atividades no campo; Agricultura 2.0 que substituiu a tração animal pelo motor a combustão, ocasionando o desenvolvimento de máquinas agrícolas; Agricultura 3.0 com o desenvolvimento do sistema GPS; Agricultura 4.0, a mais recente, incorporação da conectividade e automação, utilizando máquinas, veículos, veículos aéreos não tripulados (VANTs)/drones, robôs e animais com sensores, sendo cada vez mais utilizado esse termo nos últimos anos (ESPERIDIÃO et al., 2019).

Entre as inovações no campo, está o uso de aeronaves remotamente pilotadas (Remotely Piloted Aircraft System, RPAS), os populares VANT e DRONE, sendo que aproximadamente 25% do faturamento mundial desses equipamentos provém do agronegócio. Os VANT's possuem diversas funções, como por exemplo, sistema de segurança, em locais com maior incidência do roubo de gado (ITARC, 2023), distribuição de sementes e fertilizantes, distribuição de produtos químicos e biológicos, aerolevantamento multifinalitário, sensoriamento remoto, etc.

A utilização de drones na agricultura é uma das inovações tecnológicas mais recentes no setor. Devido a capacidade de coletar dados, em diversos processos em tempo real, otimizando o tempo de tomada de decisões. Com isso solucionando problemas na produção, como identificação de pragas, aplicação de defensivos e corretivos, reduzindo perdas e aumentando a performance da produção (SILVA, 2020).

Outra inovação na agricultura é o uso de drone na pulverização de defensivos agrícolas, otimizando o tempo e diminuindo perdas na lavoura, pois permitem que o produtor aplique em áreas que não se pode entrar com mecanização ou aviação convencional, devido ao relevo, tamanho da área ou proximidades de residências. Outro fator a considerar é que esses equipamentos não provocam amassamento das plantas, que em algumas culturas podem gerar um prejuízo de 2 a 5 % da produção (INSTITUTO AGRIS, 2022).

Desta forma, é de grande importância conhecer essas novas tecnologias, para sua correta utilização, evitando prejuízos e danos ao meio ambiente. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da pulverização com um drone em diferentes alturas e velocidades de voo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Estação Agronômica da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), da Unidade em Cachoeira do Sul - RS, localizada no distrito de Três Vendas, interior do município, latitude 29°53'06,04"S, longitude 53°00'32,76"O e altitude de 115 m. O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 3x3, com 3 repetições. Os fatores foram compostos por três alturas de voo em relação ao solo, sendo elas 3,0; 4,5 e 6,0 m e, por três velocidades de deslocamento do drone, sendo de 4,0; 6,0 e 8,0 m s⁻¹.

Para pulverização foi utilizado um drone bimotor da marca XAG, modelo V40 (Figura 1a), com capacidade de carga de 16 litros para líquidos e 25 Kg para sólidos, equipado com sistemas de pontas rotativas (Figura 1b), com ajuste do tamanho das gotas pelo aplicativo XAG One, que

permite variação de 60 a 400 μm . Para todos os voos foram ajustados o volume de calda para pulverização em 10 L ha^{-1} e o tamanho das gotas em $110 \mu\text{m}$ (Figura 2).

Figura 1. Drone da marca XAG modelo V40 (a) utilizado no experimento e detalhe da ponta de pulverização rotativa (b).



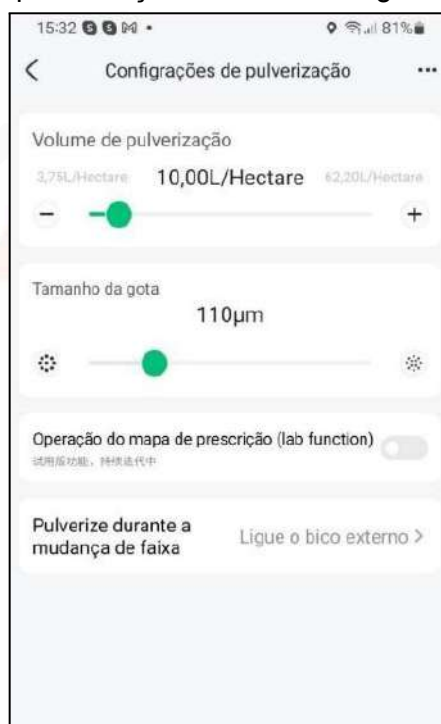
(a)



(b)

Fonte: Autor (2023).

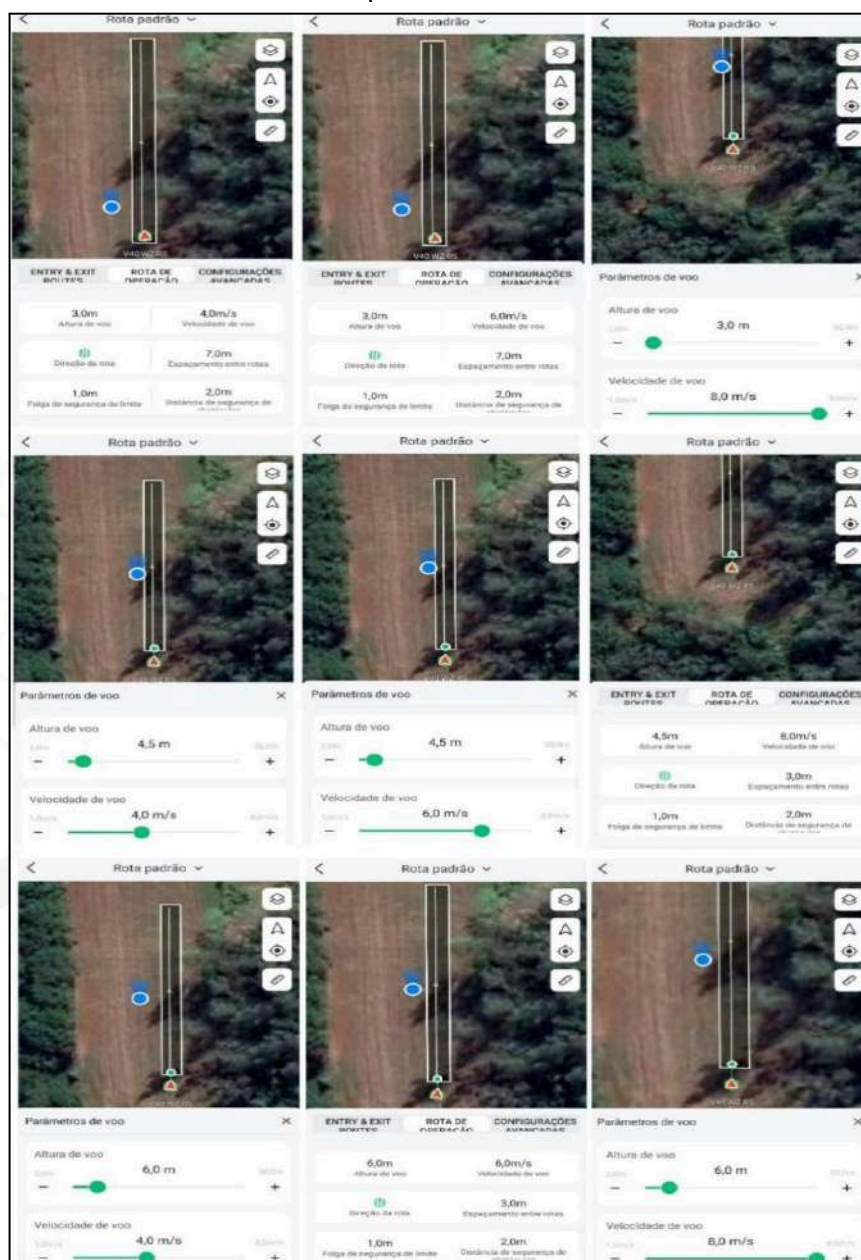
Figura 2. Tela do aplicativo de operação de voo do drone, mostrando a configuração do volume de pulverização e tamanho da gota.



Fonte: Autor (2023).

Os parâmetros de altura e velocidade de deslocamento de cada voo do drone foram configurados pelo aplicativo XAG One (Figura 3).

Figura 3. Imagens da tela do aplicativo XAG One, indicando a configuração dos voos realizados pelo drone.



Fonte: Autor (2023).

Na calda de pulverização foi utilizada somente água e um adjuvante comercial, para simular uma situação real de aplicação e não ocasionar danos ao meio ambiente e nem riscos de intoxicação. A adição do adjuvante (na concentração de 4 mL por litro), é recomendada para proporcionar maior densidade para as gotas e mitigar os efeitos de deriva.

Para avaliar o desempenho da aplicação utilizou-se papéis sensíveis a água, marca Wspaper, com tamanho de 26 x 76 mm. Esses papéis hidrossensíveis são cartões amarelos com uma camada de azul de bromofenol, que se torna azul quando em contato com líquidos. Assim, permitindo identificar o volume pulverizado, a quantidade e o tamanho das gotas depositadas sobre o papel, entre outras características.

Os cartões hidrossensíveis foram instalados em uma faixa transversal ao sentido de deslocamento do drone, em uma largura de 10 metros, para as diferentes alturas e velocidades de

voo. Os cartões foram presos em estacas de madeira a uma altura de 0,7 m do solo, na tentativa de imitar o dossel das plantas. Implantou-se os mesmos em linha, sendo um central (no eixo) e os demais a uma distância de 2 m, 3 m, 4 m e 5 m para ambos os lados do eixo central. Sendo demonstrada a nomenclatura e localização de cada amostra na tabela 1.

Tabela 1. Localização das amostras na linha, altura de voo e velocidade de deslocamento do voo.

Altura de voo (m)	Velocidade (m s ⁻¹)	Localização das amostras								
		E5	E4	E3	E2	C	D2	D3	D4	D5
3,0	4,0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
	6,0	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
	8,0	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27
4,5	4,0	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36
	6,0	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45
	8,0	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52	A53	A54
6,0	4,0	A55	A56	A57	A58	A59	A60	A61	A62	A63
	6,0	A64	A65	A66	A67	A68	A69	A70	A71	A72
	8,0	A73	A74	A75	A76	A77	A78	A79	A80	A81

Onde: C – Eixo, E2 – esquerda a 2m do eixo, E3 – esquerda a 3m do eixo, E4 – esquerda a 4m do eixo, E5 – esquerda a 5m do eixo, D2 – direita a 2m do eixo, D3 – direita a 3m do eixo, D4 – direita a 4m do eixo, D5 – direita a 5m do eixo, An – Amostra n. Fonte: Autor (2023).

Para verificar as condições meteorológicas no momento da aplicação, foram mensuradas a temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, com a ajuda de um termo-higro-anemômetro digital. No momento da aplicação a temperatura foi de 18,1° C, a velocidade do vento era nula e a umidade relativa do ar foi de 67 %.

Em cada voo do drone, nas diferentes alturas e velocidades avaliadas, foram colocados os papéis hidrossensíveis, a partir dos quais, foram avaliados o número de gotas que atingiram o alvo, o diâmetro médio das gotas e o índice de área de cobertura (IAC, %).

O número de gotas que atingiram o alvo refere-se ao número total de gotas encontrado em toda a superfície da amostra (cartão hidrosensível). Sendo uma informação importante para a confiabilidade dos resultados, pois, quanto maior o número de gotas da amostra, mais confiável é o resultado da análise (CHAIM, 2000). O diâmetro médio das gotas, é a média dos diâmetros de gotas que atingiram a amostra. O tamanho da gota é classificado e categorizado de acordo com um padrão internacional, permitindo que comparações sejam feitas entre diferentes tipos de pontas de pulverização e é um parâmetro muito importante na escolha de quais tipo de defensivos agrícolas podem ser aplicados (CHAIM, 2000).

O índice de área de cobertura (IAC, %) significa a porcentagem de área coberta pela mancha das gotas em relação a área total da amostra. O IAC ajuda na escolha do produto a ser utilizado, pois para um controle mais eficiente, como por exemplo, a utilização de defensivos de

contato, deve possuir um IAC maior que para os sistêmicos, que se translocam dentro da planta (CHAIM, 2000).

Todos os papéis hidrossensíveis foram fotografados com câmera em boa qualidade e analisados pelo Software DropLeaf (BRANDOLI et. al., 2021). O DropLeaf é um software livre, para smartphone, desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP), sendo uma ferramenta para análise da deposição de pulverizações. As médias dos parâmetros de pulverização avaliados foram comparadas aplicando-se o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$). A análise estatística foi realizada no software Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando o número de gotas que atingiram os catões hidrossensíveis, foi possível identificar uma grande variação entre as amostras, com média geral de 97,07 gotas, número mínimo de 12,33 gotas e máximo de 573,33 gotas (Tabela 2).

Tabela 2. Número de gotas que atingiram os cartões hidrossensíveis nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m s ⁻¹)	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	301,44	23,33	573,33	275,05	91,24
	6,0	75,78	14,33	170,33	83,10	109,67
	8,0	67,89	23,33	157,00	77,17	113,67
4,5	4,0	85,56	18,67	176,00	81,27	94,99
	6,0	109,89	29,67	225,00	102,23	93,03
	8,0	72,33	30,00	154,67	71,31	98,59
6,0	4,0	69,56	40,33	121,33	44,96	64,65
	6,0	55,00	26,00	108,67	46,53	84,59
	8,0	36,22	12,33	80,33	38,25	105,59
Geral		97,07	12,33	573,33		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

Outro fator importante observado, foi o elevado coeficiente de variação (CV), que aumentou com o aumento da velocidade de deslocamento do drone, independente da altura de voo. Indicando que o aumento da velocidade de deslocamento, aumenta a variabilidade dos dados em relação à média. Demonstrando influência do deslocamento de ar, provocado pela rotação das hélices do drone. Contudo não apresentou diferença estatística significativa, em relação à altura e à velocidade de voo.

O diâmetro médio das gotas geral foi 211,10 μm (Tabela 3), que é um valor bem maior que o inicialmente configurado, que era de 110 μm , assim contribuindo para reduzir a deriva. A Associação Nacional de Defesa Vegetal (ANDEF, 2004), classifica as gotas como grandes quando seu diâmetro é maior que 400 μm , gotas médias variando entre 200 a 400 μm e gotas pequenas menores que 200 μm (RAMOS, 2004). Diante dessa classificação, as aplicações obtiveram variações entre gotas do tamanho pequeno a médio indicando a utilização de defensivos agrícolas como inseticida de contato, herbicida de contato pós-emergente e fungicida sistêmico. Mas não apresentaram diferença estatística significativa, em relação às alturas e velocidades de voo.

A velocidade de deslocamento do drone de 6 m s⁻¹, na altura de 3 m, apresentou aplicações mais uniformes quanto ao tamanho das gotas (CV% = 2,38). Porém, a média do tamanho das gotas foi de 195,25 μm , considerada gotas de tamanho pequeno, de acordo com a ANDEF (2004). Para defensivos agrícolas, que permitem esse tamanho de gotas, o voo mais

indicado seria nessa configuração, pois a 3 m de altura o drone tem menos risco de danos, em uma eventual queda e, a velocidade de 6 m s⁻¹ confere uma maior capacidade operacional, devido à rápida velocidade.

Tabela 3. Diâmetro médio das gotas (µm) que atingiram os cartões hidrossensíveis nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (ms ⁻¹)	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	207,97	141,29	268,17	63,69	30,62
	6,0	195,25	191,06	200,25	4,65	2,38
	8,0	215,60	179,70	240,98	31,96	14,83
4,5	4,0	202,30	182,94	216,07	17,26	8,53
	6,0	228,10	201,20	256,91	27,90	12,23
	8,0	218,06	151,40	255,14	57,85	26,53
6,0	4,0	226,28	197,40	245,69	25,50	11,27
	6,0	198,32	186,33	208,27	11,11	5,60
	8,0	208,00	161,51	234,38	40,39	19,42
Geral		211,10	141,29	268,17		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

Analisando o índice de área de cobertura (IAC), identificou-se um percentual médio de 8,64%, com um mínimo de 0,03% e máximo de 65,19% (Tabela 4). O voo na altura de 3 m e com velocidade de 4 m s⁻¹ foi o que apresentou a maior média do IAC, apesar do grande coeficiente de variação.

Quando comparamos as velocidades do voo na altura de 3 metros do solo, houve uma diferença significativa (Tabela 5), indicando que quanto menor a velocidade maior percentual de área de cobertura foi atingido. Outro fator que apresentou diferença significativa foi quando comparamos as diferentes alturas na velocidade de voo de 4 m s⁻¹ (Tabela 6), demonstrando que para esta velocidade quanto menor a altura maior será o IAC.

Tabela 4. Índice de área de cobertura (IAC, %) das gotas de pulverização nas diferentes alturas e velocidades de deslocamento do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (ms ⁻¹)	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	43,22	0,06	65,19	37,38	86,49
	6,0	0,34	0,06	0,78	0,39	112,12
	8,0	10,84	0,10	32,20	18,58	171,42
4,5	4,0	0,39	0,43	0,08	0,88	108,93
	6,0	11,13	0,16	32,88	18,84	169,32
	8,0	10,97	0,09	32,65	18,77	171,05
6,0	4,0	0,42	0,24	0,75	0,29	67,27
	6,0	0,24	0,12	0,47	0,20	83,79
	8,0	0,20	0,03	0,47	0,24	123,97
Geral		8,64	0,03	65,19		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%). Fonte: Autor (2023).

Tabela 5. Resultado do teste de médias de Tukey para a variável IAC (%) para voo a 3,0 m de altura nas diferentes velocidades de deslocamento estudadas.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s ⁻¹)	Média
3,0	4,0	43,22 b
	6,0	0,34 a*
	8,0	10,84 a
DMS	34,40	

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2023).

Tabela 6. Resultado do teste de médias de Tukey para a variável IAC (%) nas diferentes alturas para a velocidade de deslocamento de 4 ms⁻¹.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s ⁻¹)	Média
3,0	4,0	43,22 b*
4,5	4,0	0,39 a
6,0	4,0	0,42 a
DMS	34,40	

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2023).

Para a variável IAC (%), a menor altura e menor velocidade do voo (3 m e 4 m s⁻¹, respectivamente) resultaram nos melhores resultados. Contudo na prática, estes parâmetros implicam em menor rendimento por hectare, sendo necessário maior tempo de voo na aplicação, o que pode inviabilizar a aplicação em grandes lavouras.

Outras amostras que obtiveram índice de cobertura superior a 95% foi a A41 e A50, localizadas no eixo do voo de 4,5 m de altura com velocidades de 6 e 8 m s⁻¹, respectivamente. Como estavam no eixo central do voo, demonstram a importância do transpasse da ponta de aplicação, pois o eixo recebe gotas tanto da ponta esquerda quanto da ponta direita, o que também ocorre no transpasse entre as faixas de aplicação.

A localização das amostras que tiveram uma variação de 1,33% a 1,63%, no índice de cobertura, também foi no eixo dos voos, com altura de 3 m e velocidades de 6 e 8 m s⁻¹, e altura de 4,5 m com velocidade de 4 m s⁻¹, com exceção da A40, que estava localizada a esquerda do eixo do voo de 4,5 m de altura com velocidades de 6 m s⁻¹. Como foi utilizado adjuvante na calda, esse índice de cobertura está de acordo com o trabalho de Carlesso; Bariviera (2022), que ao avaliar o índice de cobertura, na qualidade da pulverização com drone, com vazão de 10 L ha⁻¹, utilizando adjuvante na calda, obteve índice de 1,10%.

4. CONCLUSÃO

Os parâmetros avaliados foram número de gotas, que atingiram os cartões hidrossensíveis e o diâmetro médio das gotas, não apresentaram diferenças significativas em relação às alturas e velocidades de voo do drone de pulverização avaliadas.

A pulverização com drone demonstrou diferenças significativas no índice de área de cobertura, sendo que o melhor resultado foi encontrado para a altura de aplicação de 3,0 m e velocidade de deslocamento de 4,0 m s⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo Timber pela parceria no desenvolvimento deste trabalho, a partir do fornecimento do drone (XAG V40), apoio técnico e logística referente à utilização do equipamento.

REFERÊNCIAS

ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**, v. 33, n. 1 (ano 31), p. 31-53, jan./jun. 2007. Editora UFPR.

ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal. Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários, v. 52, n. 10, 2004. Disponível em: < <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>>. Acesso em 01 jul. 2023.

BRANDOLI, B.; SPADON, G.; ESAU, T.; HENNESSY, P.; CARVALHO, A. C. P. L.; AMER-YAHIA, S.; RODRIGUES, JR., J. F. DropLeaf: A precision farming smartphone tool for real-time quantification of pesticide application coverage. **Computers and Electronics in Agriculture**. Volume 180, 2021.

CARLESSO, J. A.; BARIVIERA, R. Avaliação da qualidade de pulverização com drones, utilizando diferentes vazões, velocidades e faixa de aplicação. São Miguel do Oeste, 2022. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenheiro Agrônomo) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus De São Miguel Do Oeste.

CHAIM, A. LDEMIR., CAMARGO NETO, J., GATTAZ, N. C., VISOLI, M. C. **Gotas programa de análise de deposição de agrotóxicos: manual de utilização**. EMPRAPA, 2000. Disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/down_site/gotas/ManualGotasV2.pdf> Acesso em 01 jul. 2023.

ESPERIDIÃO, T. L.; SANTOS, T. C.; AMARANTE, M. S. Agricultura 4.0: Software de Gerenciamento de Produção. **Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 4, 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

INSTITUTO AGRIS PESQUISA E CONSULTORIA AGRÍCOLA. **Perdas da soja por amassamento**. 2002. Disponível em: <<https://institutoagris.com.br/perda-da-soja-por-amassamento/#:~:text=Nesse%20potencial%20de%20rendimento%2C%20em%20sacos%20de%20soja%2Fha.>>. Acesso em 01 jul. 2023.

ITARC. **Aprenda sobre o uso de drones na agricultura**. Disponível em: <<https://itarc.org/uso-de-drones-na-agricultura/>>. Acesso em 01 jun. 2023.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. [Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira]. São Paulo: UNESP, 2010.

SILVA, ADRIANO PEREIRA da. **Uso de drone na agricultura 4.0**. VILHENA: Faculdade da Amazônia (FAMA), 2020.

AValiação DA DENSIDADE E DIÂMETRO VOLUMÉTRICO DAS GOTAS NA PULVERIZAÇÃO COM DRONE

Evaluation of density and volumetric diameter of drops in drone spraying

Alberto Eduardo Knies¹; Vilmar Tafernaberry Júnior¹; Eduardo Leonel Bottega²

¹ Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade da Uergs em Cachoeira do Sul, R. Sete de Setembro 1040, 96508-010, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, alberto-knies@uergs.edu.br, vilmar-junior@uergs.edu.br

² Universidade Federal de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul, Rodovia Taufik Germano 3013, 96503-205, Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, eduardo.bottega@ufsm.br

RESUMO

O conhecimento dos parâmetros do desempenho na pulverização com drones é de grande importância para que tenhamos uma aplicação segura, com mínimos impactos ao meio ambiente e que atinja o alvo com eficiência. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estimar a densidade e o diâmetro volumétrico das gotas da pulverização de um drone bimotor, da marca XAG modelo V40, em diferentes alturas e velocidades de voo. Foram realizadas avaliações a campo do desempenho da pulverização com drone voando em três alturas (3,0; 4,5 e 6,0 m) e três velocidades (4,0; 6,0 e 8,0 ms⁻¹) em uma faixa de aplicação de 10 m. Para avaliar o desempenho da pulverização foram utilizados cartões hidrossensíveis analisados com auxílio do Software DropLeaf. Os resultados indicaram que a altura de voo influenciou no DV 0,1, sendo que, quanto maior a altura de voo, maior seu valor. No DMV apenas na velocidade de deslocamento de 4,0 m s⁻¹ a altura influenciou, apresentando maiores valores para a maior altura de voo (6 m). Para a densidade de gotas e o DV 0,9 a análise estatística não indicou diferença significativa em relação às alturas e velocidades de voo.

Palavras-chave: VANTs; drones; pulverização agrícola; novas tecnologias

ABSTRACT

Knowledge of performance parameters when spraying with drones is of great importance so that we can have a safe application, with minimal impact on the environment and reaching the target efficiently. Therefore, the objective of this work was to estimate the density and volumetric diameter of spray droplets from a drone at different heights and flight speeds. Field evaluations of spraying performance were carried out with a drone flying at three heights (3.0; 4.5 and 6.0 m) and three speeds (4.0; 6.0 and 8.0 m s⁻¹) in an application range of 10 m. To evaluate spraying performance, hydrosensitive cards were used and analyzed with the aid of DropLeaf Software. The results indicated that the flight height influenced DV 0.1, and the higher the flight height, the higher its value. In the DMV, only at a travel speed of 4.0 m s⁻¹ did the height influence, presenting higher values for the highest flight height (6 m). For droplet density and DV 0.9, statistical analysis did not indicate a significant difference in relation to heights and flight speeds.

Keywords: UAVs, drones; agricultural spraying; new technologies

1. INTRODUÇÃO

Com o hábito de achar o alimento e depois plantar, os humanos deixaram de serem nômades e começaram a estabelecer uma moradia fixa, em determinado lugar, formando núcleos, pequenos grupos, que foram evoluindo para tribos, aldeias, vilas, cidades até se tornarem grandes centros (CASTANHO; TEIXEIRA, 2017). Segundo Castanho; Teixeira (2017) através deste processo simples começaram a produzir seus próprios alimentos, não somente para seu próprio consumo, mas também para fornecer a esses núcleos. Para satisfazer a necessidade do homem,

a agricultura obrigou-se a evoluir, e desde então vem desenvolvendo novas técnicas e metodologias para o cultivo de alimentos.

Com o passar dos anos a produção agrícola, necessitou novas técnicas, para aumentar a oferta de alimentos, e garantir a segurança alimentar para a população. Em 1960 a Revolução Verde implicou na criação e no desenvolvimento de novas atividades de produção de insumos (químicos, mecânicos e biológicos) ligados à agricultura, que resultou em um novo modelo tecnológico de produção agrícola (ALBERGONI; PELAEZ, 2007).

As plantações modernas e as operações agrícolas são realizadas de maneiras muito diferentes quando comparadas às praticadas a algumas décadas atrás. No Brasil, um tema muito atual é a agricultura de precisão, pois vêm ganhando espaço frente à agricultura tradicional, visto que, essas tecnologias possibilitam alternativas que ajudam a obter uma maior produtividade e gerando maior rentabilidade, otimizando o custo de produção (OLIVEIRA et al., 2020).

No Brasil, assim como a Rússia, Austrália, Canadá e EUA a aviação agrícola é bem desenvolvida, pois possuem grande áreas agricultáveis que permitem o uso da aviação convencional. Em contrapartida no Japão, Coreia e China onde a topografia do terreno é mais acidentada, a utilização da aviação agrícola é inviável. Assim, o uso de drones passou a ser de grande importância, uma vez que além de capturar imagens de alta resolução, são utilizados para pulverização aérea (QIN et al., 2016).

A qualidade da aplicação depende de diversos fatores, como escolha de produtos eficientes, momento ideal para aplicação, frequência suficiente de aplicações, volume adequado de aplicação, tecnologia de aplicação ajustada ao alvo e à cultura (CUNHA et al., 2010). O uso de drones para pulverização agrícola está em constante crescimento, devido às grandes evoluções dos equipamentos e do crescimento no mercado do agronegócio, tendo grandes impactos benéficos e ajudando no dia a dia do produtor no campo. Essa tecnologia desperta interesse tanto nos profissionais técnicos, quanto nos produtores rurais, sendo uma opção para competir com os pulverizadores agrícolas autopropelidos e a aviação agrícola convencional (CASTILHO et al., 2023).

A utilização desses equipamentos na aplicação de defensivos, apesar de semelhante ao uso de pulverizadores autopropelido ou de arrasto (tratorizado), apresenta diferenças e vantagens, especialmente quando se considera redução de risco de acidentes, especialmente, com relação ao uso de aviões; uso em áreas de difícil acesso onde outros pulverizadores não conseguem operar, por exemplo em terrenos íngremes e encharcados onde os tratores não chegam, e em locais que aviação agrícola não consegue atuar como regiões próximas a árvores e rede elétrica (ANDRADE et al., 2018).

Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho foi estimar a densidade de gotas (gotas cm^{-2}), o diâmetro volumétrico 10% ($D_v 0,1$) (μm), diâmetro volumétrico 50% ($D_v 0,5$ ou DMV) (μm) e diâmetro volumétrico 90% ($D_v 0,9$) (μm) da pulverização com um drone em diferentes alturas e velocidades de voo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Estação Agronômica da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), da Unidade em Cachoeira do Sul – RS, localizada no distrito de Três Vendas, interior do município, latitude $29^{\circ}53'06,04''\text{S}$, longitude $53^{\circ}00'32,76''\text{O}$ e altitude de 115 m. O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 3×3 , com 3 repetições. Os fatores de variação foram compostos por três alturas de voo em relação ao solo, sendo elas 3,0; 4,5 e 6,0 m e, e por três velocidades de deslocamento do drone, sendo de 4,0; 6,0 e 8,0 m s^{-1} .

Para pulverização foi utilizado um drone bimotor da marca XAG, modelo V40 (Figura 1a), com capacidade de carga de 16 litros para líquidos e 25 litros para sólidos, equipado com sistemas de pontas rotativas (Figura 1b), com ajuste do tamanho das gotas pelo aplicativo XAG One, que permite variação de 60 a 400 μm . Para todos os voos foram ajustados o volume de calda na pulverização em 10 L ha^{-1} e o tamanho das gotas em 110 μm (Figura 2).

Figura 1. Drone da marca XAG modelo V40 (a) utilizado no experimento e detalhe da ponta de pulverização rotativa (b).



Fonte: Autor (2023).

Para simular uma situação real de aplicação e não ocasionar danos ao meio ambiente e riscos de intoxicação, utilizou-se somente água e um adjuvante comercial (na concentração de 4 mL por litro) na calda de pulverização. A adição do adjuvante é recomendada, para proporcionar maior densidade para as gotas e mitigar os efeitos de deriva. Para analisar o desempenho da aplicação utilizou-se papéis sensíveis à água, marca Wspaper, com tamanho de 26 x 76 mm. Esses papéis hidrossensíveis são cartões amarelos com uma camada de azul de bromofenol, que se torna azul quando em contato com líquidos. Assim, permitindo identificar o volume pulverizado, a quantidade e o tamanho das gotas depositadas sobre o papel, entre outras características.

Figura 2. Tela do aplicativo de operação de voo do drone, mostrando a configuração do volume de pulverização e tamanho da gota.



Fonte: Autor (2023).

Os cartões hidrossensíveis foram instalados em uma faixa transversal ao sentido de deslocamento do drone, em uma largura de 10 metros, para as diferentes alturas e velocidades de

voo. Os cartões foram presos em estacas de madeira a uma altura de 0,7 m do solo, na tentativa de imitar o dossel das plantas. Implantou-se os mesmos em linha, sendo um central (no eixo) e os demais a uma distância de 2 m, 3 m, 4 m e 5 m para ambos os lados do eixo central. Sendo demonstrada a nomenclatura e localização de cada amostra na tabela 1 e figura 3.

Tabela 1. Localização e identificação das amostras conforme a altura e velocidade de deslocamento do voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s ⁻¹)	Localização das amostras								
		E5	E4	E3	E2	C	D2	D3	D4	D5
3,0	4,0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
	6,0	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
	8,0	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27
4,5	4,0	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36
	6,0	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45
	8,0	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52	A53	A54
6,0	4,0	A55	A56	A57	A58	A59	A60	A61	A62	A63
	6,0	A64	A65	A66	A67	A68	A69	A70	A71	A72
	8,0	A73	A74	A75	A76	A77	A78	A79	A80	A81

Onde: C – Eixo, E2 – esquerda a 2m do eixo, E3 – esquerda a 3m do eixo, E4 – esquerda a 4m do eixo, E5 – esquerda a 5m do eixo, D2 – direita a 2m do eixo, D3 – direita a 3m do eixo, D4 – direita a 4m do eixo, D5 – direita a 5m do eixo, An – Amostra n.

Fonte: Autor (2023).

Para verificar as condições meteorológicas no momento da aplicação, foram mensuradas a temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar (UR), com a ajuda de um termohigroanemômetro digital. No momento da aplicação, a temperatura foi de 18,1 °C, a velocidade do vento era nula e a umidade relativa do ar foi de 67 %.

Em cada voo do drone, nas diferentes alturas e velocidades avaliadas, foram colocados os papéis hidrossensíveis, a partir dos quais, foram avaliados a densidade de gotas (número de gotas por cm²), o diâmetro volumétrico 10% (DV 0,1), diâmetro volumétrico 50% (DV 0,5 ou DMV) e o diâmetro volumétrico 90% (DV 0,9).

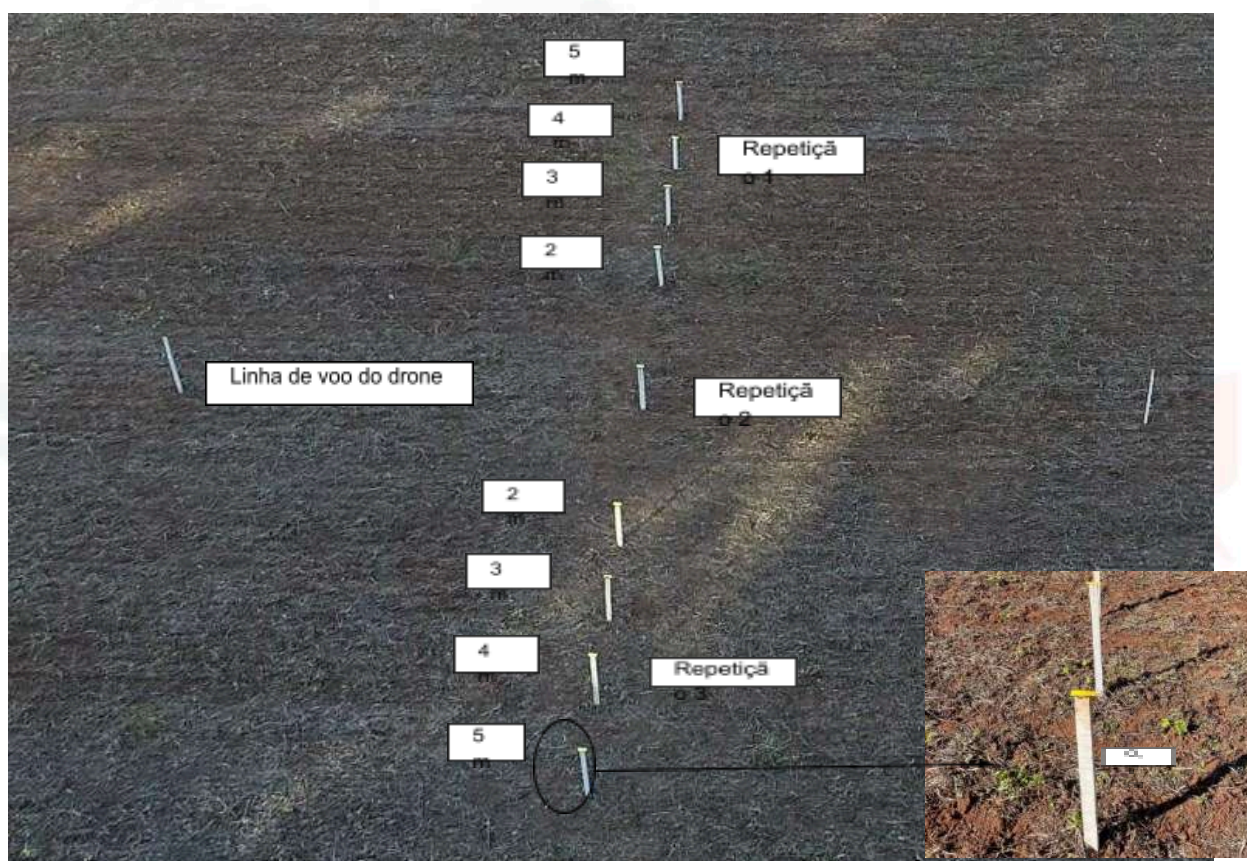
A densidade de gotas representa quantas gotas atingiram uma área equivalente a um centímetro quadrado. Sendo um parâmetro internacionalmente indicado para a calibração da pulverização, pois os fabricantes de defensivos agrícolas indicam a densidade de gotas para o controle de determinada praga. Um exemplo é para o controle de plantas espontâneas, com utilização de herbicida pré-emergente sistêmico, a densidade de gotas é de 20 a 30 gotas cm⁻², já para utilização de herbicida pré-emergente de contato, a densidade de gotas é de 30 a 40 gotas cm⁻² (CHAIM, 2000).

O diâmetro volumétrico 10% (DV 0,1, µm) corresponde a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros menores que D 0,1, compõem 10% do volume total de líquido da amostra. O diâmetro volumétrico 50% (DV 0,5) ou diâmetro mediano volumétrico (DMV), corresponde a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros

menores que D 0,5 compõem 50% do volume total de líquido da amostra. O DMV é muito importante para a calibração da deposição, pois expressa o padrão de diâmetro de gotas que atingiu a amostra. O diâmetro volumétrico 90% (DV 0,9) representa a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros menores que D 0,9 compõem 90% do volume total de líquido da amostra (CHAIM, 2000).

Todos os papéis hidrossensíveis foram fotografados com câmera em boa qualidade e analisados pelo Software DropLeaf (BRANDOLI et. al., 2021). O DropLeaf é um software livre, para smartphone, desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP), sendo uma ferramenta para análise da deposição de pulverizações. As médias dos parâmetros de pulverização avaliados foram comparadas aplicando-se o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$). A análise estatística foi realizada no software Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

Figura 3. Localizações dos cartões hidrossensíveis.



Fonte: Autor (2023).

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a densidade de gotas (gotas cm^{-2}) não houve diferença estatística significativa, em relação às alturas e velocidades de voo (Tabela 2). Foi identificado um número médio de 6,42 gotas cm^{-2} , com um mínimo de 0,62 gotas cm^{-2} e um máximo de 43,09 gotas cm^{-2} .

Segundo a Associação Nacional de Defesa Vegetal (ANDEF, 2004), a densidade de gotas recomendada para aplicação de defensivos agrícolas deve ser maior que 20 gotas cm^{-2} . Os drones utilizam baixo volume de calda (nesse experimento 10 L ha^{-1}) e, conseqüentemente, a concentração de produto ativo é maior, necessitando fazer uma recomendação específica para

pulverizações com drones. No estudo de Silva (2022), que analisou os fatores altura e velocidade de voo que influem na qualidade da aplicação de produtos fitossanitários com o uso de drones nas culturas do milho e da soja, a densidade de gotas variou de 26 a 39 gotas.cm⁻².

Tabela 2. Densidade de gotas (gotas cm⁻²) nas diferentes alturas e velocidades de deslocamento do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s ⁻¹)	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	15,25	1,18	29,01	13,92	91,25
	6,0	3,83	0,72	8,62	4,21	109,74
	8,0	3,44	1,18	7,95	3,91	113,65
4,5	4,0	4,33	0,95	8,91	4,11	94,98
	6,0	5,56	1,50	11,39	5,17	93,03
	8,0	3,66	1,52	7,83	3,61	98,57
6,0	4,0	17,09	2,04	43,09	22,61	132,28
	6,0	2,78	1,31	5,50	2,36	84,62
	8,0	1,83	0,62	4,07	1,94	105,62
Geral		6,42	0,62	43,09		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%).

Fonte: Autor (2023).

Apenas as amostras A5, A6 e A7 obtiveram número de gotas cm⁻² superior a 20, ambas correspondentes ao voo de 3,0 m de altura a uma velocidade de 4,0 m s⁻¹, correspondendo a uma faixa de aproximadamente 5,0 m de largura. Outro fator que deve ser observado, é a importância da sobreposição na aplicação entre as faixas, o que pode aumentar o número de gotas nas bordas. Podemos observar que as amostras que obtiveram um número menor que 10 gotas cm⁻² (A8, A17, A18, A26, A27, A 35, A36, A44, A4, A54) estão na borda da linha de amostragem e, podem duplicar o seu número de gotas através do transpasse.

Neste trabalho utilizou-se adjuvante na calda, o que pode ter diminuído a densidade de gotas cm⁻², pois o mesmo ocorreu com o trabalho de Carlesso e Bariviera (2022), que ao avaliar a densidade de gotas na qualidade de aplicação da pulverização com drone, o tratamento que utilizou o adjuvante obteve densidade em torno de 90% menor que o tratamento sem o uso de adjuvante.

Para o DV 0,1 (Tabela 3) na comparação das médias de velocidade para cada altura, a análise demonstrou que houve diferença significativa para o DV 0,1, indicando que quanto maior a altura maior será o DV 0,1 (Tabela 4). Isso reforça a ideia, da influência do deslocamento de ar, gerado pela rotação das hélices, na aplicação de defensivos e insumos agrícolas. Pois no momento do voo a velocidade do vento era nula, a umidade relativa estava adequada e quanto mais alto o voo maior o DV 0,1, demonstrando que as gotas com diâmetros menores que atingiram o alvo em alturas mais baixas sofreram deriva.

Tabela 3. Variação do DV 0,1 (μm) nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s^{-1})	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	80,65	72,57	86,13	7,14	8,86
	6,0	86,81	83,44	93,53	5,83	6,71
	8,0	103,09	85,63	116,21	15,74	15,27
4,5	4,0	99,89	94,89	108,77	7,71	7,72
	6,0	102,59	94,33	107,81	7,23	7,05
	8,0	113,49	90,42	145,80	28,83	25,40
6,0	4,0	105,14	92,32	114,63	11,52	10,96
	6,0	106,59	97,80	123,45	14,61	13,71
	8,0	111,89	95,31	122,05	14,48	12,94
Geral		101,13	72,57	145,80		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%).

Fonte: Autor (2023).

Tabela 4. Resultado do teste de médias para a variável DV 0,1 (μm) nas diferentes velocidades de deslocamento para cada altura de voo do drone.

Velocidade (m s^{-1})	Altura de voo (m)		
	3,0	4,5	6,0
4,0	80,65	99,89	105,14
6,0	86,81	102,59	106,59
8,0	103,09	113,49	111,89
Média	90,18 a*	105,32 a b	107,87 b
DMS	17,17		

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2023).

Os resultados para o DV 0,5 ou DMV estão apresentados na tabela 5. Comparando as diferentes alturas para a velocidade de 4 m s^{-1} , a análise demonstrou que houve diferença significativa, indicando que quanto maior a altura maior será o DMV (Tabela 6).

Tabela 5. Variação do DV 0,5 (μm) nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s^{-1})	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	151,18	121,32	169,15	26,03	17,22
	6,0	188,11	175,50	203,35	14,11	7,50
	8,0	200,22	151,55	231,96	42,80	21,38
4,5	4,0	185,36	163,78	200,80	19,26	10,39
	6,0	205,25	191,05	218,22	13,62	6,64
	8,0	183,26	150,69	211,64	30,69	16,75
6,0	4,0	214,92	198,02	228,95	15,66	7,29
	6,0	187,57	164,92	208,84	21,99	11,73
	8,0	205,06	171,33	227,30	29,70	14,49
Geral		191,21	121,32	231,96		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%).

Fonte: Autor (2023).

Tabela 6. Comparação do DMV (μm) nas diferentes alturas na velocidade 4 m s^{-1} de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m.s^{-1})	Média
3,0	4,0	151,18a*
4,5	4,0	185,36 a b
6,0	4,0	214,92 b
DMS	58,01	

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2023).

Um resultado menos eficiente do drone quanto ao diâmetro mediano volumétrico pode estar associado à altura de voo, pois resulta em menor deposição, favorecendo a deriva e reduzindo a chegada de produto no alvo (CUNHA et al., 2021). Uma das principais diferenças entre a pulverização terrestre e aérea está no volume de calda. A terrestre tem como principal característica a aplicação próxima da planta usando altos volumes de calda. As pulverizações com drone geralmente atingem de 1,5 a 3 metros acima do dossel das plantas, utilizando volumes ultrabaixos de calda, uma vez que o equipamento induz a formação de vórtex que contribui para uma melhor deposição da calda nos alvos (CARLESSO; BARIVIERA, 2022).

Os resultados para o DV 0,9 estão apresentados na tabela 7. A análise estatística não indicou diferença significativa em relação às alturas e velocidades de voo. O DV 0,9 geral ficou em $354,79 \mu\text{m}$.

Tabela 7. Variação do DV 0,9 (μm) nas diferentes alturas e velocidades de voo do drone.

Altura de voo (m)	Velocidade (m s^{-1})	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
3,0	4,0	325,58	274,30	383,63	54,98	16,89
	6,0	349,43	319,12	378,16	29,55	8,46
	8,0	383,50	351,58	425,89	38,25	9,97
4,5	4,0	358,27	345,79	378,29	17,52	4,89
	6,0	396,01	320,46	485,28	83,26	21,02
	8,0	342,41	243,00	534,67	166,53	48,64
6,0	4,0	358,34	326,85	378,45	27,62	7,71
	6,0	345,68	334,01	359,58	12,93	3,74
	8,0	333,89	228,89	406,36	93,10	27,88
Geral		354,79	228,89	485,28		

Onde: DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%).

Fonte: Autor (2023).

4. CONCLUSÃO

A altura de voo influenciou os resultados do DV 0,1, sendo que, quanto maior a altura de voo, maior seu valor. Para o DMV, apenas na velocidade de deslocamento de $4,0 \text{ m s}^{-1}$ a altura influenciou, apresentando maiores valores para a maior altura de voo (6 metros). Para a densidade de gotas e o DV 0,9 a análise estatística não indicou diferença significativa em relação às alturas e velocidades de voo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo Timber pela parceria no desenvolvimento deste trabalho, a partir do fornecimento do drone (XAG V40), apoio técnico e logística na realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**, v. 33, n. 1 (ano 31), p. 31-53, jan./jun. 2007. Editora UFPR

ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**, v. 52, n. 10, 2004. Disponível em: < <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>>. Acesso em 01 jul. 2023.

ANDRADE, J. M de A. et al. Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. **Ingeniería y Región**, v. 20, p. 72-77, 2018.

BRANDOLI, B.; SPADON, G.; ESAU, T.; HENNESSY, P.; CARVALHO, A. C. P. L.; AMER-YAHIA, S.; RODRIGUES, JR., J. F. DropLeaf: A precision farming smartphone tool for real-time quantification of pesticide application coverage. **Computers and Electronics in Agriculture**. Volume 180, 105906, January 2021.

CARLESSO, J. A.; BARIVIERA, R. Avaliação da qualidade de pulverização com drones, utilizando diferentes vazões, velocidades e faixa de aplicação. São Miguel do Oeste, 2022. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenheiro Agrônomo) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus de São Miguel Do Oeste.

CASTANHO, R. B.; TEIXEIRA, M. E. S. A evolução da agricultura no mundo. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**. Ituiutaba, v. 8, n. 1, p. 136-146, jan./jun. 2017.

CASTILHO, M. R., ROCHA, G. S., WEBBER, W., JACOMASSO, KATER. Uso de drones em pulverização agrícola. **ANAIS** da XI Mostra científica. FACEM. Sorriso – MT, Fev. 2023. ISBN: 978-65-00-64001-4

CHAIM, A. LDEMIR., CAMARGO NETO, J., GATTAZ, N. C., VISOLI, M. C. **Gotas programa de análise de deposição de agrotóxicos: manual de utilização**. EMPRAPA, 2000. Disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/down_site/gotas/ManualGotasV2.pdf> Acesso em 01 jul. 2023.

CUNHA, J.P.A.R. da; COELHO, L.; ARAÚJO, R.G.C. Spray nozzle and adjuvant effects on fungicidal control of soybean Asian rust. **Interciência**, v.35, p.765-768, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

OLIVEIRA, ALTACIS JUNIOR de et al. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Braz. J. of Develop**, v. 5, n. 2, 2020.

SILVA, M. R. A. Deposição de calda aplicada com aeronave remotamente pilotada nas culturas de milho e soja. 2022. 50f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia/ Proteção de Plantas) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

QIN, W.C., QIU, B.J., XUE, X, Y., CHEN, C., XU, Z.F., ZHOU, Q.Q. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. **CropProtection**, v. 85, p. 79-88, 2016.

DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE SOJA EM FUNÇÃO DE MECANISMOS DOSADORES DE SEMENTES E VELOCIDADES DE SEMEADURA

Seed distribution and agronomic performance of soybeans as affected by seed dispenser mechanisms and planting speeds

Luiz Felipe Silveira Pavão¹; Marcelo Silveira de Farias¹; Ivan Carlos Maldaner¹;
Luciano Zucuni Pes¹; André Müllich¹; Kauane Rubert¹; Veronica Fuzer Guarienti¹; Gustavo Zanon Peripolli¹

¹ Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, felipepavao14@gmail.com, marcelo.farias@ufsm.br, ivan.maldaner@ufsm.br, lucianopes@politecnico.ufsm.br, andre.mullich@hotmail.com, kauanerubert64@gmail.com, veronicafuzerg@gmail.com, guga100zp@gmail.com

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição longitudinal de sementes, a população final de plantas e a produtividade de grãos da cultura da soja, com o uso de diferentes mecanismos dosadores de sementes e velocidades de trabalho. O experimento foi conduzido na Área Nova do Colégio Politécnico, da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, na safra 2022/23, utilizando o Delineamento em Blocos ao Acaso, em bifatorial 3x3, com seis repetições. O Fator A consistiu em três mecanismos dosadores de sementes: pneumático vertical e sistema elétrico, pneumático vertical e sistema mecânico e alveolado horizontal e sistema mecânico. O Fator B consistiu em três velocidades de semeadura: 3,5; 5,5 e 7,5 km h⁻¹. O dosador pneumático vertical e sistema elétrico apresentou melhores resultados para todas as variáveis analisadas. A menor velocidade de trabalho garantiu melhor distribuição de sementes e maior produtividade de grãos. O mecanismo dosador de sementes utilizado e a velocidade de trabalho influenciam na qualidade da semeadura e no desempenho agrônomo da cultura da soja.

Palavras-chave: Mecanização agrícola. Eletrônica embarcada. Semeadura precisa.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the longitudinal distribution of seeds, final plant population, and grain productivity in soybean cultivation using different seed metering mechanisms and working speeds. The experiment was conducted at the New Area of the Polytechnic College, Federal University of Santa Maria, in Santa Maria, RS, during the 2022/23 crop season, using a Randomized Complete Block Design in a 3x3 factorial arrangement with six repetitions. Factor A consisted of three seed metering mechanisms: vertical pneumatic with an electric system, vertical pneumatic with a mechanical system, and horizontal cell wheel with a mechanical system. Factor B included three seeding speeds: 3.5, 5.5, and 7.5 km h⁻¹. The vertical pneumatic metering mechanism with an electric system yielded better results for all analyzed variables. The lower working speed ensured better seed distribution and higher grain productivity. The choice of seed metering mechanism and working speed influences the quality of seeding and the agronomic performance of soybean cultivation.

Keywords: Agricultural mechanization. Embedded Electronics. Precision Seeding.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), é a principal cultura de grãos do Brasil, com produção de 154.603,4 mil toneladas e área de cultivo de 44.072,9 mil hectares na safra 2022/23, totalizando produtividade média de 3.508 kg ha⁻¹, o que representa aumento de 6,2% na área de cultivo, 23,1% na produção e 15,9% na produtividade, em relação à safra anterior (CONAB, 2023). Ainda, segundo dados da companhia, apesar do país apresentar constante crescimento, em termos de produção e área de cultivo, o Rio Grande do Sul obteve produtividade média de 1.986 kg ha⁻¹ na safra 2023/22, considerada abaixo do esperado para o estado, o que se deve à deficiência hídrica, provocada pelo Fenômeno La Niña. Devido à ocorrência deste Fenômeno, aspectos como o tipo e os manejos de solo, a escolha de materiais adequados e a qualidade de semeadura influenciaram ainda mais no teto de produtividade alcançado nas lavouras gaúchas nesta safra.

A eletrônica embarcada empregada em máquinas e implementos agrícolas é um dos fatores que possibilitaram, ao longo dos anos, aumento da área de cultivo, de produção e de produtividade da cultura da soja. As tecnologias envolvem, principalmente, o uso de Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e, na prática, possibilitam melhorias tanto no rendimento operacional quanto na qualidade das operações efetuadas no campo.

No complexo de implementos agrícolas utilizados na cultura da soja, as semeadoras-adubadoras possuem a função de cortar a palha, abrir o sulco, dosar e depositar as sementes e fertilizantes e fechar e adensar o sulco de cultivo (BALASTREIRE, 2005). Desta forma, as semeadoras-adubadoras podem ser consideradas ferramentas fundamentais para definir o número de plantas por área, que é o primeiro componente de produtividade da cultura da soja (TAGLIAPIETRA et al., 2022).

Além do número de plantas por área, a uniformidade de espaçamento entre plantas distribuídas na linha de semeadura pode influenciar na produtividade da cultura da soja, pois implica na eficiência de aproveitamento de recursos como água, luz e nutrientes pelas plantas (NETO et al., 2008). Desta forma, a presença de plantas consideradas duplas na linha de semeadura pode ocasionar distúrbios no desenvolvimento, como maior altura, menor diâmetro das hastes e menor número de ramificações; já a presença de espaçamentos entre plantas considerados falhos pode estimular o desenvolvimento de plantas daninhas na entrelinha, além de provocar o desenvolvimento de plantas de soja com porte reduzido.

Um dos aspectos que podem promover melhorias na uniformidade de distribuição de sementes da cultura da soja é a escolha do melhor mecanismo dosador de sementes a ser empregado na semeadora. De maneira geral, as semeadoras-adubadoras de precisão utilizadas na cultura da soja apresentam dois tipos predominantes de dosadores de sementes: dosadores mecânicos, com disco horizontal e dosadores pneumáticos, com disco vertical. Segundo pesquisa realizada por Francetto et al., (2015), 79,57% das semeadoras fabricadas no Brasil, por volta do ano de 2014, saíam de fábrica com o mecanismo dosador mecânico, com disco horizontal, considerados mais comuns para a cultura, na época. No entanto, nos últimos anos é crescente o emprego dos mecanismos dosadores pneumáticos, principalmente devido à busca pelo emprego de ferramentas mais precisas nas operações agrícolas.

Outro aspecto que pode influenciar na uniformidade de distribuição de sementes de soja é a velocidade de trabalho, utilizada no momento da semeadura. De maneira geral, o emprego de velocidades de trabalho menores tende a garantir maior desempenho, tanto dos mecanismos de distribuição, quanto dos componentes responsáveis por acomodar as sementes e gerar o contato semente-solo.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição longitudinal de sementes, a população final de plantas e a produtividade de grãos da cultura da soja, com o uso de diferentes mecanismos dosadores de sementes e velocidades de trabalho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área agrícola denominada “Área Nova”, pertencente ao Colégio Politécnico, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria, nas coordenadas geográficas Latitude 29°72’37” Sul e Longitude de 53°74’97” Oeste e altitude de, aproximadamente, 100 metros ao nível médio dos mares. O clima da região é o Cfa, subtropical úmido e com verões quentes, segundo a classificação de Köppen. O solo da área é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado (SANTOS et al., 2018), composto por uma média de 53% de areia, 30% de silte e 17% de argila na camada de 0-20 cm. No dia da semeadura o solo estava com consistência úmida, na condição friável. A semeadura foi realizada no sistema plantio direto, sobre palhada de azevém dessecada 10 dias antes. A Área Nova é o local onde são realizados experimentos de pesquisa do Projeto de Desenvolvimento Institucional “Advanced Farm 360”, o qual desenvolve ações de Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação, com ênfase na área da Agricultura de Precisão e Digital.

A semeadura do experimento ocorreu em 24 de novembro de 2022, utilizando a cultivar BRSMAX Fibra IPRO, na densidade de 311.000 sementes por hectare e profundidade de semeadura de quatro centímetros. A adubação foi realizada na linha de semeadura e constituiu-se em 300 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 03-21-21. Todos os tratos culturais foram realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura da soja.

Foi utilizado o delineamento experimental em faixas, em bifatorial 3x3, com seis repetições. O Fator A foi constituído por três mecanismos dosadores de sementes (Figura 1): 1. dosador pneumático vertical e sistema elétrico (motor); 2. dosador pneumático vertical e sistema mecânico (cabo) e 3. dosador alveolado horizontal e sistema mecânico (engrenagens). O mecanismo dosador 1 é o mais moderno em termos de tecnologia, pois é do tipo pneumático e apresenta motor elétrico para acionamento do disco alveolado em cada linha de semeadura, permitindo o monitoramento e a distribuição de sementes em taxa variável para cada linha de semeadura, conforme as condições da operação; o mecanismo dosador 2 também é do tipo pneumático, porém apresenta sistema de transmissão mecânico, por espia ou cabo de aço e o mecanismo dosador 3 funciona a partir de discos alveolados horizontais e engrenagens de transmissão, sistema tradicional. Devido ao uso de três diferentes semeadoras, houve variação também no duto condutor de sementes, a qual foi desprezada neste estudo.

Figura 1 – Mecanismos dosadores de sementes utilizados no experimento.



Legenda: Dosador pneumático vertical e sistema elétrico (A); dosador pneumático vertical e sistema mecânico (B) e dosador alveolado horizontal e sistema mecânico (C).

Fonte: Gustavo Zanon Peripolli (2022).

O Fator B foi composto por três velocidades de semeadura: 3,5; 5,5 e 7,5 km h⁻¹. Para realizar a semeadura, as semeadoras-adubadoras foram tracionadas por um trator agrícola da marca Massey Ferguson, modelo MF 6714R, com potência de 107 kW (145 cv), segundo informações do fabricante.

As variáveis-resposta analisadas foram: qualidade de distribuição longitudinal de sementes, produtividade de grãos e população final de plantas. Com o auxílio do programa computacional Sisvar, os dados foram submetidos à ANOVA. Em caso de não haver interação entre os fatores avaliados, será feita a comparação de médias, pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro, para o Fator A (mecanismos dosadores de sementes) e análise de regressão para o Fator B (velocidades de trabalho).

Para avaliar a qualidade da distribuição longitudinal de sementes, um dia após a semeadura, foi realizada a mensuração da distância entre sementes em um metro linear de cada parcela experimental. A partir disso, seguindo a norma da ABNT (1996), os espaçamentos entre sementes foram classificados como aceitáveis, falhos e duplos, da seguinte maneira: o espaçamento teórico calculado entre sementes (XREF) foi de 7,14 cm e, a partir disto, considerou-se como espaçamentos aceitáveis os compreendidos entre 0,5 e 1,5 XREF; duplos os espaçamentos menores que 0,5 XREF e falhos os espaçamentos maiores que 1,5 XREF. Assim, foram considerados duplos os espaçamentos entre sementes menores que 3,57 cm; aceitáveis os espaçamentos entre 3,57 e 10,71 cm e falhos os espaçamentos maiores que 10,71 cm.

A colheita foi realizada manualmente, no dia 26 de abril de 2023, por meio da coleta de quatro linhas de dois metros de comprimento cada, totalizando 3,6 m² de plantas por unidade experimental. Após colhidas, as plantas passaram pelo processo de trilha, limpeza e quantificação da massa de grãos, a qual foi extrapolada para a massa de grãos por hectare, com umidade corrigida para 13%. A população final de plantas foi determinada a partir da contagem de plantas presentes em 3,6 m², no momento da colheita, e após, procedeu-se com a transformação do dado para número de plantas por hectare.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

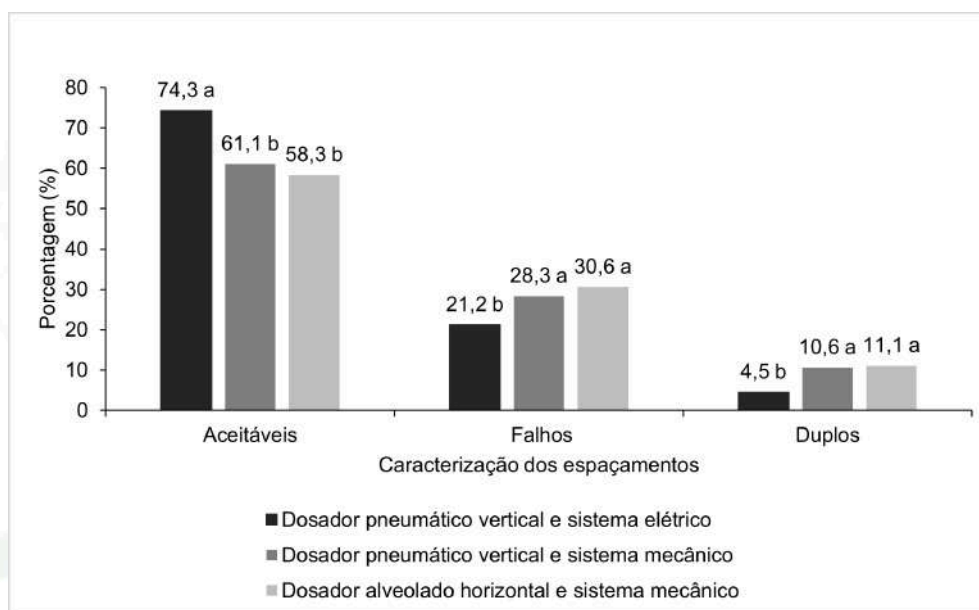
A safra 2022/23 foi marcada pela ocorrência do Fenômeno La Niña, pelo terceiro ano consecutivo no Rio Grande do Sul, o que prejudicou o estabelecimento inicial e o desenvolvimento das lavouras. No local do experimento, o total acumulado de chuvas, da semeadura até a colheita, foi de 377,6 mm (INMET, 2023), com a presença de longos períodos sem chuvas. A ocorrência deste Fenômeno é um desafio para os produtores rurais e demanda de ainda mais atenção aos fatores agrônômicos envolvidos no momento da semeadura como, por exemplo, a garantia de arranjo adequado de plantas, que pode ser influenciado pelos equipamentos utilizados nesta operação.

Não houve interação entre o Fator A (mecanismos dosadores de sementes) e o Fator B (velocidades de trabalho) para todas as variáveis-resposta avaliadas, mas houve diferenças para cada Fator. Dessa forma, todos os mecanismos dosadores de sementes utilizados apresentaram a mesma tendência de resposta ao uso de diferentes velocidades de trabalho, e houve diferenças nos resultados ao comparar os mecanismos dosadores e as velocidades de trabalho, para as variáveis-resposta avaliadas.

A porcentagem de espaçamentos entre sementes aceitáveis com o uso do mecanismo dosador pneumático vertical e sistema elétrico foi superior em relação aos demais mecanismos, que não diferiram entre si (Figura 3). Como consequência, este mesmo mecanismo dosador de

sementes apresentou menores porcentagens de espaçamentos entre sementes falhos e duplos, em relação aos outros dois mecanismos, que também não diferiram entre si. Em partes, este resultado vai ao encontro ao obtido por Neto et al. (2008), que verificaram maior porcentagem de espaçamentos aceitáveis com o uso de mecanismo dosador pneumático, em relação ao uso do disco horizontal, porém sem comparar o uso de sistemas de transmissão elétricos e mecânicos na semeadora pneumática. Isto evidencia que há tendência de aumento constante dos espaçamentos entre sementes aceitáveis com o aumento da eletrônica embarcada nas semeadoras.

Figura 3 – Porcentagem de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos entre sementes, obtidos com o uso dos diferentes mecanismos dosadores.

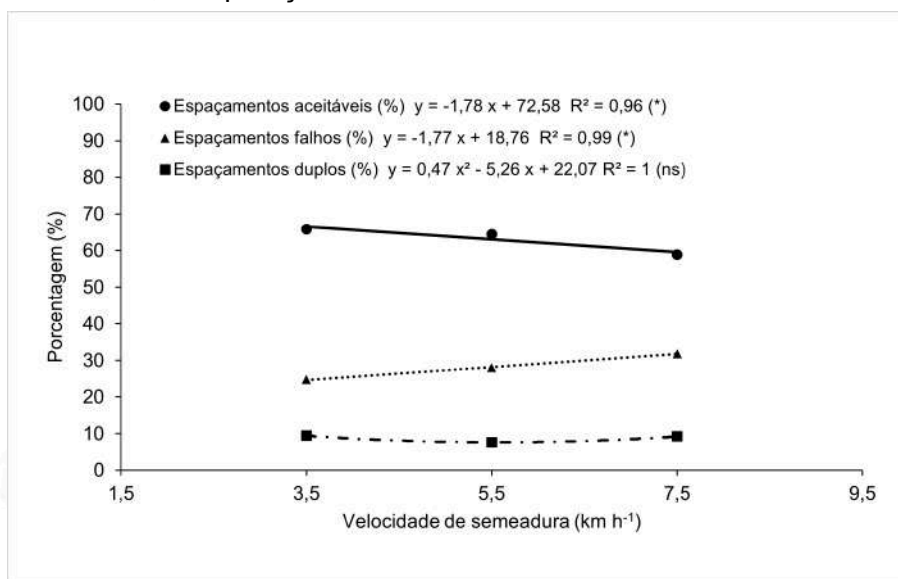


Legenda: Médias seguidas por letras diferentes nas colunas, para cada variável analisada, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro. (CV = 27,4%; 52,6% e 105,2% para espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos, respectivamente).

Fonte: Autor (2023).

Na Figura 4, são apresentados os resultados de porcentagem de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos em função das velocidades de trabalho utilizadas. Na análise de regressão entre a velocidade de trabalho e a porcentagem de espaçamentos aceitáveis, foi obtida equação polinomial de primeiro grau, com diferença entre os tratamentos, indicando que a porcentagem de espaçamentos aceitáveis diminui de maneira linear com o aumento da velocidade de trabalho. Na análise de regressão entre a velocidade de trabalho e a porcentagem de espaçamentos falhos, também foi obtida equação polinomial de primeiro grau, com diferença entre os tratamentos, indicando que a porcentagem de espaçamentos falhos aumentou linearmente com o aumento da velocidade de trabalho. Por fim, na análise de regressão entre a velocidade de trabalho e a porcentagem de espaçamentos duplos, foi obtida equação polinomial de segundo grau, com tendência de redução de espaçamentos duplos com velocidade de 5,5 km h⁻¹, porém sem diferença entre os tratamentos.

Figura 4 – Porcentagem de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos entre sementes, em função da velocidade de trabalho, na operação de semeadura.

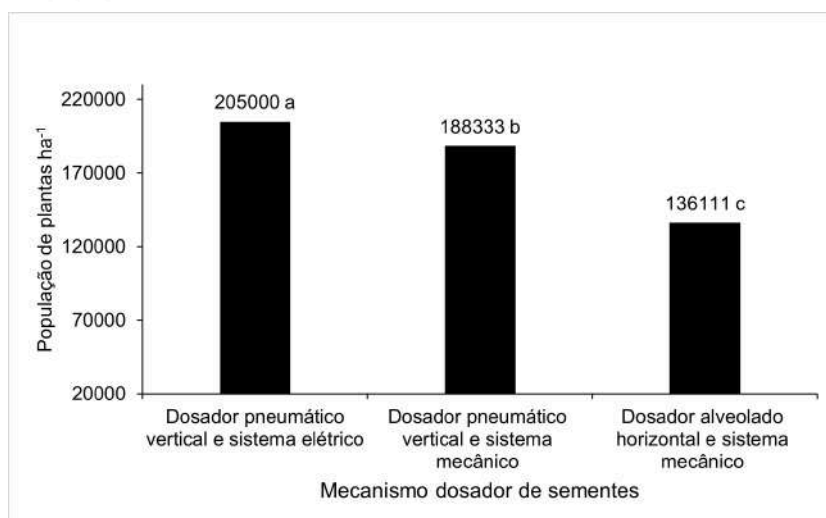


Legenda: (ns) - Não significativo, pelo teste F, com nível de significância de 5%. (*) - Significativo, pelo teste F, com nível de significância de 5%. (CV = 27,4%; 52,6% e 105,2% para espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos, respectivamente).

Fonte: Autor (2023).

A população final para todos os tratamentos foi reduzida em relação à densidade de 311.000 sementes por hectare, utilizada no momento da semeadura. Esta redução possivelmente está associada à deficiência hídrica ocorrida durante a safra, que prejudicou a emergência da cultura e ocasionou a morte de muitas plantas já estabelecidas, fenômeno visível durante a condução do experimento. Apesar disso, houve diferença na população final de plantas entre todos os mecanismos dosadores utilizados (Figura 5).

Figura 5 – População final da cultura da soja com o uso de diferentes mecanismos dosadores de sementes.



Legenda: Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro. (CV = 12,9%).

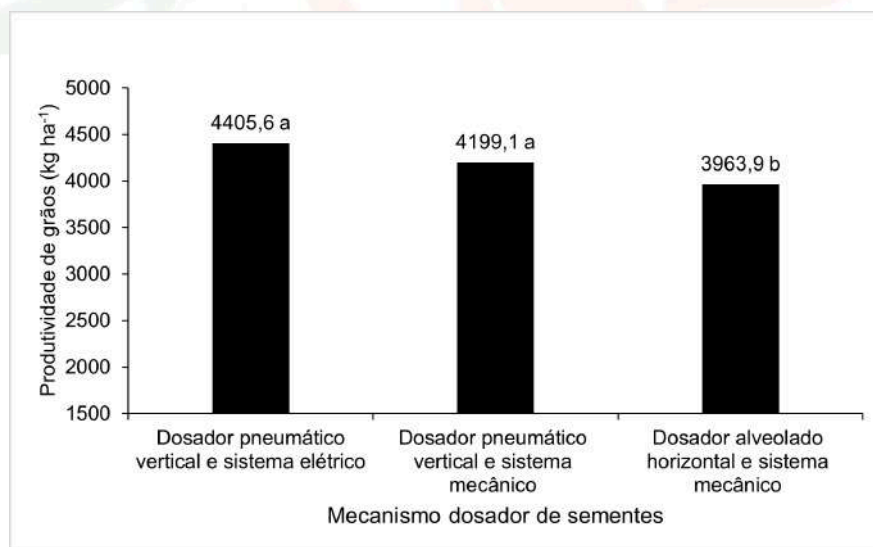
Fonte: Autor (2023).

A maior população final de plantas foi observada com o uso do mecanismo dosador pneumático vertical e sistema elétrico, e a menor população foi observada com o uso do mecanismo dosador alveolado horizontal e sistema mecânico. Esta resposta possivelmente está associada, também, aos componentes de deposição das sementes no solo utilizados nas diferentes semeadoras, variável que não foi avaliada neste estudo, mas que exerce papel fundamental para o adequado estabelecimento e desenvolvimento de plantas, principalmente, em anos com ocorrência de déficit hídrico.

O uso de diferentes velocidades de trabalho não apresentou resposta significativa na população final de plantas da cultura da soja. Os resultados obtidos nas variáveis qualidade de distribuição de sementes e população final de plantas se assemelham aos encontrados por Dias et al. (2009) e por Cortez et al. (2006). No primeiro, os autores trabalharam com mecanismo dosador alveolado horizontal e no segundo com mecanismo dosador pneumático, e ambos concluíram que, com o aumento da velocidade de semeadura, há redução significativa dos espaçamentos aceitáveis, mas não há interferência na densidade de sementes e na formação do estande de plantas na cultura da soja.

A produtividade de grãos foi superior com o uso do mecanismo dosador pneumático vertical e sistema elétrico e do mecanismo dosador pneumático vertical e sistema mecânico (Figura 6), os quais não diferiram entre si. Este resultado possivelmente está associado com a melhor distribuição longitudinal de sementes e população final de plantas observados com o uso destes mecanismos dosadores.

Figura 6 – Produtividade de grãos de soja com o uso dos diferentes mecanismos dosadores de sementes.



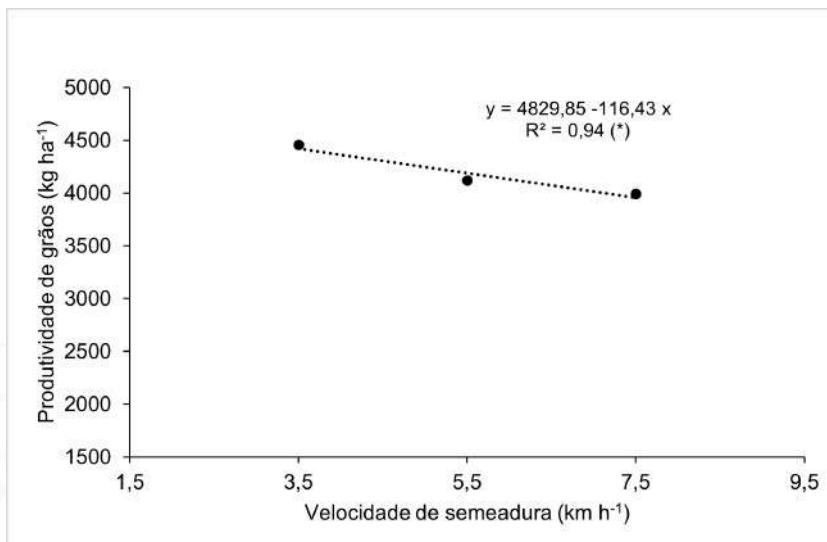
Legenda: Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro. (CV = 11,7%).

Fonte: Autor (2023).

Na análise de regressão entre a velocidade de trabalho e a produtividade de grãos, foi obtida equação polinomial de primeiro grau, com diferença entre os tratamentos, indicando que a produtividade de grãos diminui de maneira linear com o aumento da velocidade de trabalho. Resultado semelhante foi encontrado por Reynaldo et al. (2016), que verificaram redução na

produtividade de grãos de soja com o aumento na velocidade de trabalho durante a semeadura, utilizando mecanismo dosador alveolado horizontal.

Figura 7 – Produtividade de grãos de soja com o uso de diferentes velocidades de trabalho, durante a operação de semeadura.



Legenda: (*) - Significativo, pelo teste F, com nível de significância de 5% (CV = 11,7%).

Fonte: Autor (2023).

A redução da produtividade de soja, neste caso, possivelmente está relacionada aos fatores como a menor porcentagem de espaçamentos aceitáveis entre plantas e o menor desempenho dos mecanismos de deposição de sementes no solo, quando utilizadas maiores velocidades. Isso vai ao encontro com a conclusão de Liu et al. (2004), de que o aumento da capacidade operacional proporcionada pelo uso de velocidades de trabalho elevadas pode comprometer a qualidade da semeadura da soja e o desempenho produtivo das culturas. Ressalta-se a importância de realizar o adequado equilíbrio entre capacidade operacional e qualidade de semeadura, para que não ocorram prejuízos no desempenho agrônomo das culturas, em função de erros no momento da operação agrícola.

A resposta em produtividade com o uso dos diferentes tratamentos ficou evidente neste estudo, também, devido à deficiência hídrica enfrentada na safra 2022/23. A soja apresenta a característica de alta plasticidade, definida como a capacidade que as plantas têm de se adaptar às condições ambientais e de manejo, por meio de modificações na sua morfologia, arquitetura e componentes de rendimento (PIRES et al., 2000). Na safra 2022/23, no entanto, a alta plasticidade da cultura não garantiu adequada estabilidade produtiva com a ocorrência de diferentes espaçamentos entre sementes e população final de plantas, pois ocorreu a deficiência de água, um dos principais recursos necessários para o desenvolvimento adequado da cultura e alcance de elevados tetos de produtividade.

3. CONCLUSÃO

O uso de diferentes mecanismos dosadores de sementes no momento da semeadura da cultura da soja influencia na distribuição longitudinal de sementes, na população final de plantas e na produtividade de grãos. Principalmente, em anos com ocorrência de deficiência hídrica. O

mecanismo dosador pneumático e sistema elétrico, considerado o de maior tecnologia, tende a apresentar melhores desempenhos, para todas as variáveis-resposta analisadas.

Para cada aumento de 1 km h⁻¹ na velocidade de trabalho, na operação de semeadura, tem-se a redução de 116,43 kg ha⁻¹ na produtividade da cultura da soja. O uso de menor velocidade de trabalho tende a proporcionar melhores resultados, em termos de distribuição longitudinal de sementes e produtividade de grãos da cultura.

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de norma 12:02.06-004**: semeadora de precisão: ensaio de laboratório. São Paulo: Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 1996.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. Piracicaba. 2005. 322p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira - Grãos**: 11º Levantamento de grãos - Safra 2022/23. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023.

CORTEZ, J.W. et al. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.502-510, 2006.

DIAS, O.V. et al. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1.721-1.728, 2009.

FRANCETTO, T. R. et al. Características dimensionais e ponderais das semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul v. 19, p. 18-24, 2015. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/1f83/477fc2f3d35ff85c04d82421346a9dcbebf8.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2023.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil. **Banco de Dados Meteorológicos**, 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

LIU, W. et al. Impact of planter type, planting speed, and tillage on stand uniformity and yield of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 6, p. 1668-1672, 2004.

NETO, R. P. et al. Desempenho de mecanismos dosadores de sementes em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, supl., p. 611-617, 2008.

PIRES, J. L. F. et al. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, 2000.

REYNALDO, E. F. et al. Nota técnica: influência da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e produtividade de soja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 24, n.1, p. 63-67, 2016.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Brasília, Embrapa Solos. 356p. 2018.

TAGLIAPIETRA, E. L. et al. **Ecofisiologia da soja**: visando altas produtividades. Santa Maria, 2022, 432p., ed. 2, ISBN: 978-65-89469-44-5.



TAXA VARIÁVEL DE SEMENTES DE SOJA COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE EM AMBIENTES DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

Soybean seed variable rate as a strategy to increase productivity in precision agriculture environments

Airton Polon¹; Telmo Jorge Carneiro Amado²

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, CEP 97105-900, Santa Maria - RS, Brasil, airton.polon@acad.ufsm.br

² Universidade Federal de Santa Maria, proftelmoamado@gmail.com

RESUMO

A aplicação de sementes em taxa variável, além de pôr em prática os preceitos de Agricultura de Precisão, isto é, intervenção localizada levando em consideração a variabilidade espacial e temporal, respeita as limitações e as potencialidades nos diferentes pontos do talhão. A pesquisa foi desenvolvida em dois talhões distintos e com duas cultivares de soja na safra 2020/2021, TMG 7062 e BMX ZEUS, variando cinco populações através de motores elétricos para cada cultivar após a definição de dois ambientes de manejo denominados ZA (Alto Potencial Produtivo) e ZB (Baixo Potencial Produtivo), objetivando demonstrar resultados de produtividade para os diferentes ambientes. Os resultados evidenciaram ganhos de produtividade em ambas as cultivares para os diferentes ambientes, demonstrando também que a correta definição destes ambientes de manejo é fundamental para o posicionamento adequado das taxas prescritas. Conclui-se que a adoção desta prática é uma excelente ferramenta de manejo, podendo trazer um retorno financeiro médio de R\$ 268,55 ha⁻¹.

Palavras-chave: Ambientes. Motores Elétricos. Taxa Variável.

ABSTRACT

The application of seeds at a variable rate, in addition to putting into practice the precepts of Precision Agriculture, that is, localized intervention taking into account spatial and temporal variability, respects the limitations and potential in different parts of the field. The research was carried out in two different plots and with two soybean cultivars in the 20/21 harvest, TMG 7062 and BMX ZEUS, varying five populations using electric motors for each cultivar after defining two management environments called ZA (High Productive Potential) and ZB (Low Productive Potential), aiming to demonstrate productivity results for different environments. The results showed productivity gains in both cultivars for different environments, also demonstrating that the correct definition of these management environments is fundamental for the adequate positioning of the prescribed rates. It is concluded that the adoption of this practice is an excellent management tool and can bring an average financial return of R\$ 268,55,00 ha⁻¹.

Keywords: Environments, Electric Motors, Variable Rate.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e da pesquisa, atualmente está mais acessível a adoção de procedimentos e protocolos que vão de encontro a necessidade do aumento da produtividade de grãos, bem como melhorar a gestão do negócio agrícola com foco na maximização dos resultados e na oportunidade para a redução de custos de produção. Neste sentido, a qualidade e a adoção de estratégias no processo de semeadura é um fator a cada dia mais debatido e fundamental. Recursos capazes de aumentar a eficiência das semeadoras no campo, além de possibilitar a variação da dosagem dos insumos aplicados são fatores fundamentais e indispensáveis quando se pensa no aumento da produtividade e o foco no retorno econômico ao final do ciclo da cultura (POLON; AMADO, 2022).

Em ambientes de Agricultura de Precisão as informações, após levantamentos georreferenciados de atributos associados à variabilidade espacial e temporal (AMADO et al., 2007), são processadas, correlacionadas e podem ser transformadas em arquivos de prescrição para taxas variadas de diversos insumos, inclusive populações de sementes para os diversos cultivos. A taxa variável de sementes é uma estratégia que apresenta resultados positivos quando aplicada de maneira estruturada, com embasamento e apoiada no conhecimento agrônomo e tecnológico para determinar as melhores cultivares aliada a prescrição mais apropriada para cada região/ambiente, de acordo com os objetivos pretendidos ao final do ciclo (CORASSA et al., 2018), pensando na saúde do solo e na resposta econômica, isto é, precisa ser sustentável.

Visando as melhores práticas de Agricultura de Precisão onde se busca extrair produtividades maiores e redução nos custos com eficiência no uso dos recursos disponíveis, sempre visando a sustentabilidade do sistema produtivo, buscou-se avaliar o impacto da aplicação da taxa variável no potencial produtivo da cultura da soja.

Estratégias de avaliação on-farm se apresentam como alternativas muito interessantes para testar e avaliar diferentes propostas dentro da propriedade, buscando o máximo de eficiência nas condições intrínsecas de cada ambiente (SPERANZA et al., 2022; PIRES et al., 2022), englobando o manejo praticado, nível de tecnologia adotado e as expectativas de médio e longo prazo (HÖRBE et al., 2013), mas que sofrem interferências que englobam condições ambientais e o próprio microclima onde o talhão está localizado.

Para efetuar este processo e aplicar este conceito na prática, são necessárias diversas ferramentas para operacionalizar a dosagem destes insumos no campo, dentre elas uma semeadora com um sistema de acionamento dos dosadores de sementes e fertilizantes capaz de variar a dosagem com o equipamento em deslocamento através de um sistema eletrônico que recebe informações em tempo real para aplicação localizada de acordo com a prescrição georreferenciada previamente (SARAIVA et al., 2000; MOLIN et al., 2015).

Além de conhecimento, é necessário equipamentos altamente eficientes e capazes de atender as necessidades da Agricultura de Precisão, dentre elas, a taxa variável. Neste sentido, a semeadora tem por objetivo distribuir uma quantidade de sementes pré-determinada de maneira precisa e uniforme de forma que a população final chegue no padrão desejado (BIULCHI, 2016). Essas informações são determinantes para confrontar os resultados obtidos no campo e os dados gerados nas interpolações por meio de softwares utilizados em Agricultura de Precisão, validando as informações e contribuindo para ajustes que devem ser significativos ao final da pesquisa.

Como a recomendação de população pelos obtentores das cultivares é única para uma média aplicada na totalidade do talhão, a variação de população em diferentes pontos (heterogeneidade) possui comportamento, da mesma forma diferente e, portanto, espera-se resultados distintos (CORASSA, 2015).

A pesquisa objetivou relacionar diferentes populações de duas cultivares de soja em dois locais distintos com o rendimento de grãos após a definição de dois ambientes de manejo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na região norte do Rio Grande do Sul, no município de Getúlio Vargas/RS, em dois talhões distintos e duas cultivares de soja (*Glycinemax* L.) na safra 2020/2021, sendo a primeira área denominada “Eucalipto” com 5,3 hectares nas coordenadas 27°48’41”S; 52°14’01”W e 650 metros de altitude média. A segunda área denominada “Castilho” possui 4,8 hectares e está localizada às coordenadas 27°50’57”S; 52°13’50”W com elevação média de 780 metros.

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018) e o clima predominante da região é o Cfa, temperado úmido com verões quentes segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

Dentre os critérios para o desenvolvimento dos trabalhos foram definidos dois ambientes de produção, tratados na presente pesquisa como Zonas de Baixo Potencial de Produtividade (ZB) e Zonas de Alto Potencial de Produtividade (ZA). Para a determinação destes dois ambientes foram usadas diversas informações, incluindo dados de CEa (ALVES et al., 2013), mapas de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), análise de amostras de solo georreferenciadas, além de informações, não menos importantes, relativas ao conhecimento empírico do proprietário das áreas.

Os dados de CEa (mS m^{-1}) com profundidade de até 30 cm foram obtidos pelo equipamento Terram, sendo que valores maiores foram associados à ZA e valores menores a ZB. Na mesma operação também foram gerados os mapas de elevação, considerados nas análises (UHRY, 2013; MELO et al., 2017), que na região varia significativamente em curtas distâncias devido à topografia acidentada.

Os mapas de NDVI foram confeccionados através de imagens gratuitas obtidas da plataforma *Earth Explorer* das últimas três culturas (soja) e processadas em *softwares* livres. As informações das amostras de solo e os mapas finais com a definição dos ambientes ZA e ambientes ZB foram processadas e definidas pelo software CR CAMPEIRO. Essa é uma prática comum na Agricultura de Precisão e serve para a definição de inúmeras estratégias de intervenções localizadas dentro de cada talhão (GIOTTO et al., 2013).

Com a determinação dos ambientes ZA e ZB em cada uma das áreas e a definição das cultivares a serem utilizadas, associadas às populações recomendadas, definiu-se 5 taxas de semeadura objetivando avaliar a produtividade das cultivares nos diferentes ambientes, além de obter dados para justificar o uso de taxa variável em ambientes de Agricultura de Precisão.

Os mapas finais processados para as duas cultivares/áreas e com os dois ambientes de características distintas, classificados como ZA e ZB, além da disposição das parcelas nas áreas da pesquisa são apresentados na Figura 1. Sendo assim, foram alocadas 30 parcelas de 50 metros de comprimento por 3,5 metros de largura divididos em dois blocos com três repetições em cada bloco, compreendendo 50% no ambiente ZA e 50% no ambiente ZB, objetivando a avaliação de produtividade com a mesma prescrição de população para os diferentes ambientes.

Figura 1. Imagem das áreas usadas na pesquisa.



Legenda: Mapas das áreas nomeadas como “Eucalipto” (A) e “Castilho” (B) com a definição das zonas de manejo, a localização e a posição das parcelas alocadas em cada talhão, além da prescrição para a totalidade das áreas semeadas em taxa variável.

Fonte: Autores (2023)

Na área “Eucalipto” (FIGURA 1A) foi implantado o experimento no dia 04 de novembro de 2020 com a semeadura da cultivar BMX ZEUS com características de crescimento indeterminado, grupo de maturação 5.5, exigência de alta fertilidade e com as tecnologias Intacta RR2 PRO®. A recomendação de semeadura para a região (103), de acordo com o obtentor da cultivar, seria ideal compreendendo a segunda quinzena de outubro e o mês de novembro, sendo que a população final recomendada poderia variar de 280 a 330 mil plantas ha⁻¹. Foram empregadas cinco taxas de semeadura, sendo 240, 280, 300, 320 e 360 mil sementes ha⁻¹.

Na área “Castilho” (FIGURA 1B) foi implantado o experimento no dia 06 de novembro de 2020 com a semeadura da cultivar TMG 7062, de características de crescimento semideterminado, grupo de maturação 6.2, exigência de fertilidade média-alta e com as tecnologias InoX® mais Intacta RR2 PRO®. A recomendação de semeadura para a região (103), de acordo com o obtentor da cultivar, seria ideal compreendendo os meses de outubro e novembro e respeitando a população final de 238 mil plantas ha⁻¹. As cinco taxas de semeadura prescritas foram 178, 213, 248, 283 e 318 mil sementes ha⁻¹.

As avaliações para determinar a população final de plantas e o diagnóstico da densidade final de plantas foram realizados através da contagem de três amostragem por ambiente em cada bloco em uma distância de 10 metros lineares.

A semeadora usada para a implantação dos experimentos foi da marca Semeato®, modelo SHM 15/17, ano 2007 com 8 linhas espaçadas a 0,42 metros, equipadas por 8 motores elétricos ROJ TECHNOLOGY (FIGURA 2). Os dosadores de semente, do tipo disco horizontal, configurados com 90 furos de 9mm e anel com rebaixe de 1mm conferidos e certificados para o diâmetro das sementes. A velocidade de operação constante em 5 km h⁻¹.

Figura 2. Imagem da semeadora usada para a implementação dos experimentos.



Legenda. Semeadora Semeato®, modelo SHM 15/17, equipada com motores elétricos linha a linha e controladora ISUBUS.

Fonte: Autores (2023)

A controladora (ECU) usada possui tecnologia ISOBUS (ISO 11783), modelo CM 20, marca Topcon, assim como o display e o receptor GNSS, modelos X25 e AGI-4, respectivamente. Foi empregada a correção de sinal comercialmente disponibilizada para o mercado como TOPnet. Esta opção possibilita a localização precisa do equipamento no campo, com erro aproximado de $\approx 3\text{cm}$, requisito necessário para o desligamento automático de linhas e para a operação com piloto automático elétrico também instalado no trator, sendo este também da marca Topcon.

O trator usado para tracionamento da semeadora foi da marca Massey Ferguson®, modelo 292 Advanced turbo aspirado, ano 2004 com 105 cavalos de potência nominal e 4x2 TDA (Tração Dianteira Assistida) e equipado com cabine da marca Implemaster, modelo Signia. O sistema elétrico básico do trator, composto por um alternador de 55A e uma bateria de 90A com CCA de 750A, também serviu de fonte de alimentação para suprir a necessidade energética dos motores elétricos instalados na semeadora.

A colheita ocorreu após 150 e 156 dias, no dia 03 de abril e 09 de abril de 2021 para as cultivares BMX ZEUS e TMG 7062, respectivamente. Os tratos culturais e todos os manejos foram realizados seguindo as estratégias adotadas pelo produtor e aplicados de forma padrão em área total, sendo assim, igual para todos os tratamentos instalados na pesquisa. O processamento dos dados obtidos a campo, em um primeiro momento, foi realizado em planilha eletrônica Microsoft Excel e as análises estatísticas foram rodados por softwares estatísticos gratuitos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas reduções do estande final de plantas em relação a população prescrita que variaram 7 a 14% na cultivar TMG 7062 e de 12 a 17% na cultivar BMX ZEUS, valores semelhantes aos encontrados por Uhry (2013) e inferiores aos relatados por Silva (2020). O principal fator para esta redução foi a qualidade da semente (TABELA 1).

As condições de campo foram adequadas e propícias para a boa germinação e emergência das plântulas, bem como para o estabelecimento da cultura em todo o seu ciclo de desenvolvimento com índice pluviométrico bem distribuído semanalmente, somando 820 mm acumulados do plantio a colheita, proporcionando produtividade acima da média histórica para a

região e estado, consequentemente. De acordo com Carvalho et al. (2013), o volume ideal para a cultura da soja seria entre 450 e 800 mm de água durante o ciclo da cultura.

Tabela 1. Prescrição de semeadura (Ds) e densidade de plantas (Dp) final.

TMG 7062				BMX ZEUS			
Recomendação (X1000)	Ds (x1000)	Dp (x1000)	sem/m ⁻¹	Recomendação (X1000)	Ds (x1000)	Dp (x1000)	sem/m ⁻¹
238	178	158	6.7	280 - 330	240	211	8.9
	213	196	8.2		280	247	10.4
	248	230	9.7		300	256	10.7
	283	242	10.2		320	275	11.5
	318	282	11.9		360	298	12.5

Legenda. Taxa prescrita, contagem de plantas por metro linear e densidade de plantas das cultivares TMG 7062 e BMX ZEUS.

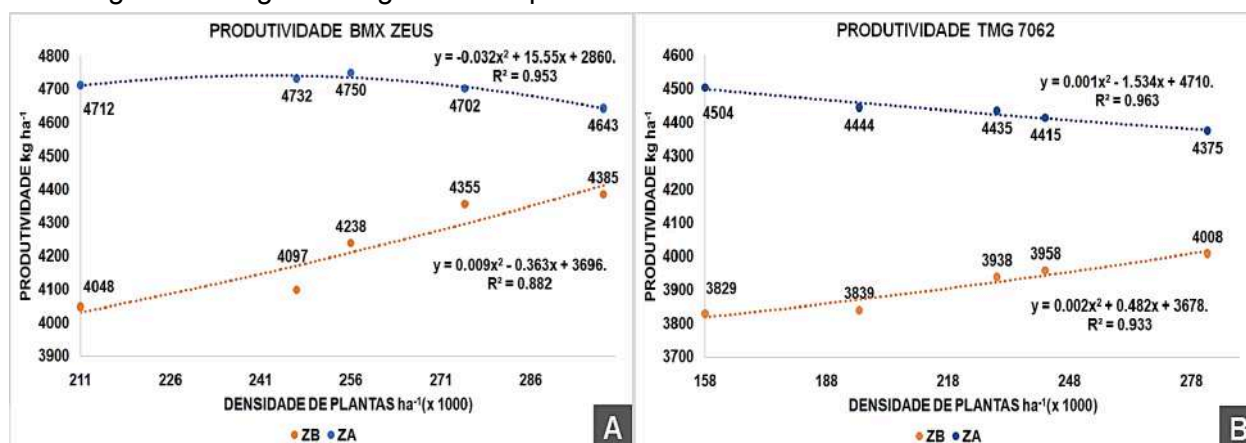
Fonte: Autores (2023)

Estatisticamente (FIGURA 3B), na cultivar TMG 7062, se evidenciou diferença na produtividade média de 520 kg ha⁻¹ quando comparados os ambientes ZB e ZA, bem como para as diferentes prescrições de taxas de semeadura e, consequentemente, de população final de plantas por hectare. Foi confirmada redução de produtividade na ordem de 179 kg ha⁻¹ quando comparada a maior e a menor prescrição no ambiente ZB, enquanto no ambiente ZA, houve um incremento de produtividade na ordem de 129 kg ha⁻¹ no sentido inverso, isto é, menores populações registraram maiores produtividades. A tendência é que a discrepância pudesse ser ainda maior com variações de taxa superiores e, também, inferiores, pois não foram atingidas as mínimas e máximas produtividades para as prescrições testadas nesta cultivar. Sendo assim, nas condições do experimento, entre o maior resultado produtivo, ou seja, menor população de plantas em ZA e maior população de plantas em ZB houve uma diferença de populações que chegou a 124 mil plantas ha⁻¹. Calcula-se (não linear) incrementos de produtividade de 1,04 kg para cada 1000 plantas reduzidas no ambiente ZA, enquanto no ambiente ZB houve aumento de 1,44 kg ha⁻¹ para cada 1000 plantas a mais estabelecidas.

Nota-se claramente que nos ambientes ZB, há incremento de produtividade com populações maiores, ou seja, as recomendações de população por médias não são eficientes para que o material genético possa expressar o seu máximo potencial produtivo. Conforme recomendação, 230 mil plantas finais por hectare (10 plantas por metro), tem-se uma redução em produtividade de 50 kg ha⁻¹ em relação a população máxima aplicada e 89 kg ha⁻¹ em relação a população mínima nos ambientes ZA. Extrapolando os resultados do experimento para a área total onde o mesmo foi implementado, se aplicada a taxa com a melhor resposta em produtividade para cada ambiente, supõe-se que haveria incremento de 313 kg ha⁻¹ no ambiente ZA e 56,7 kg ha⁻¹ no ambiente ZB, totalizando 369,7 kg ha⁻¹ de rendimento de grãos no total do talhão de 4,8 hectares.

No talhão “Eucalipto”, a cultivar BMX ZEUS apresentou um comportamento idêntico com o da cultivar anterior no que se refere à população de plantas no ambiente ZB, sendo que, à medida que se aumentou a população de plantas, a resposta em produtividade seguiu a tendência de crescimento no rendimento da massa seca de grãos (FIGURA 3A) sem que o platô fosse alcançado para esta variável. Porém, no caso do ambiente ZA, a máxima produtividade foi alcançada para a prescrição de taxa correspondente a 300 mil sementes ha⁻¹, 256 mil plantas finais, reduzindo a produtividade para prescrições superiores e inferiores.

Figura 3. Imagem dos gráficos de produtividade.



Legenda. Gráficos das produtividades nos ambientes ZA e ZB nas cultivares BMX ZEUS (A) e TMG 7062 (B) com as fórmulas relativas aos ajustes aplicados na análise estatística.

Fonte: Autores (2023)

Foi constatado que diferentes densidades de população de plantas podem acarretar diretamente no potencial produtivo da cultura, conforme dados obtidos na condição do experimento. Foram registradas diferenças de produtividades significativas quando comparados os dois ambientes, além das taxas prescritas de 240 e 280 mil sementes ha^{-1} . Levando em consideração a taxa prescrita para os diferentes ambientes em área total no talhão onde o experimento foi implantado e os resultados das análises, quando extrapoladas as taxas com a melhor resposta em produtividade para cada ambiente, supõe-se que no ambiente ZA foi aplicada a melhor taxa. Porém, de acordo com as evidências, uma população maior deveria apresentar melhores resultados produtivos, isto é, o ambiente ZB responderia positivamente com prescrições de sementes superiores a 360 mil sementes ha^{-1} . No entanto, no ambiente ZA houve uma redução de 48 kg ha^{-1} de rendimento de grãos em comparação com taxa ideal do experimento, ou seja, no total do talhão de 5,3 hectares houve redução de 108 kg devido à prescrição superior de 19 mil sementes ha^{-1} no ambiente ZA.

Os resultados relativos às produtividades para as cultivares BMX ZEUS (FIGURA 3A) e TMG 7062 (FIGURA 3B) evidenciam as maiores produtividades nos ambientes ZA em comparação com os ambientes ZB. Percebe-se que a variação da prescrição de sementes e, consequentemente, de população nos diferentes ambientes proporcionou resultados também diferentes no rendimento de grãos em kg ha^{-1} levando-se em consideração as cinco taxas prescritas para as duas cultivares.

A definição de dois ambientes de manejo para (SANTOS, 2017) ajuste da taxa prescrita de sementes se mostrou eficiente, pois evidenciou as diferenças de produtividade entre os ambientes, mesmo que as taxas prescritas não atingissem todo o potencial relativo a cada ambiente.

Quando se analisa os efeitos da produtividade é correto afirmar que não há uma prescrição média capaz de atender de forma eficiente a todos os ambientes dentro de um talhão, pelo fato de que ele não é, e provavelmente nunca será, homogêneo, por muitos motivos (AMADO et al., 2011). A pesquisa evidenciou que os ambientes de produção se diferenciam e as diferentes taxas prescritas retornaram significativos resultados diretamente relacionados com a produtividade de grãos. Os resultados da pesquisa apontam que a variação de população influencia diretamente nos resultados de produtividade, sendo que, taxas mais elevadas em ZB apresentam rendimentos superiores, enquanto em ZA o ajuste de população poderia ser reduzido em 18% sem penalizar o rendimento da cultura (CORASSA, et al., 2018).

Para todas as variáveis, o ambiente ZA apresentou produtividades superiores em relação ao ambiente ZB, independente da população prescrita, corroborando com a hipótese de que não há homogeneidade nos talhões e entre os ambientes de produção. Na pesquisa, ZB tiveram um comportamento inverso ao comportamento ZA quando o resultado buscado é a maior produtividade de grãos ha^{-1} . Por outro lado, existem recursos e tecnologias que permitem aplicar estratégias relativas ao ajuste de população que melhor se adapta a cada condição, levando-se em consideração a genética dos materiais e a identificação dos ambientes, contrabalançando as limitações com as potencialidades em cada situação.

Os ambientes ZA e ZB são diferentes nas diferentes regiões e/ou propriedades, ambientes ZB em uma propriedade pode ser ambiente ZA em outra quando comparados os atributos de solo e interações com o ambiente. O equilíbrio entre os fatores químicos, físicos, biológicos, ambientais e de manejo tem impacto direto na definição dos ambientes de produção e, consequentemente, na produtividade.

Obviamente que sementes de qualidade e velocidade de semeadura são indiscutivelmente cruciais para taxas de semente reduzidas (DIAS et al., 2009; JASPER et al., 2011) pois, acima de tudo, deve-se garantir de todas as formas que as plantas possam se estabelecer no local preciso e na posição ideal. Apesar da amplitude das taxas prescritas, as mínimas e as máximas produtividades não foram alcançadas para os ambientes classificados como ZB em ambas as cultivares, exceto para a cultivar BMX ZEUS no ambiente ZA.

Considerando as recomendações de prescrição de população dos obtentores das cultivares e, nas condições da pesquisa, assumindo que não houve economia de semente, apenas a redistribuição de acordo com as definições dos respectivos ambientes, foram evidenciadas perdas de potencial produtivo na cultivar TMG 7062 de 139 kg ha^{-1} e 107 kg ha^{-1} na cultivar BMX ZEUS no ambiente ZA. De acordo com as cotações atuais (R\$ 131,00) para a saca de 60 kg de soja, houve perda, na melhor das hipóteses, de R\$ 303,48 ha^{-1} para a cultivar TMG 7062 e R\$ 233,62 ha^{-1} para a cultivar BMX ZEUS.

4. CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa apontam que a correta identificação e delimitação dos ambientes produtivos aliadas à aplicação do ajuste de população através da taxa variada de sementes se apresentou como uma importante estratégia para explorar o máximo potencial produtivo de cada ambiente.

Essas práticas podem aumentar o rendimento financeiro das propriedades, sendo que para as condições da pesquisa, o ajuste adequado de população poderia trazer um retorno financeiro médio de R\$ 268,55 ha^{-1} , podendo ser maior, pois as maiores taxas prescritas testadas para os ambientes ZB não atingiram as máximas produtividades, assim como as mínimas taxas prescritas nos ambientes ZA, exceto para a cultivar BMX ZEUS.

Estudos com uma amplitude ainda maior para as taxas prescritas podem trazer informações importantes no que se refere às máximas e as mínimas populações toleradas nos ambientes ZB e ZA, respectivamente.

A disponibilidade de sistemas compostos por motores elétricos possibilita aos pequenos produtores usarem a tecnologia, pois podem ser instalados em semeadoras usadas, ou ainda, sem que o trator seja trocado porque não tem capacidade de fluxo hidráulico.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. de; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, S. M. F.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M. Definições de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.1, p. 104-114, 2013.
- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. de S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1101-1110, 2007.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. **Uso da agricultura de precisão para superar fatores limitantes de produtividade em Latossolos do Sul do Brasil: um estudo de caso**. In: CLAY, DE; SHANAHAN, J. (Eds.). Aplicações GIS na agricultura - gestão de nutrientes para maior eficiência energética. 3. ed. Boca Raton: [sn]. pág. 31-60, 2011.
- BIULCHI, P. V. **Máquinas e mecanização agrícola**. Educacional S.A., Londrina, 236p. 2016.
- CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. da. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.
- CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; STRIEDER, M. L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J. L. F.; CARTER, P. R.; CIAMPITTI, I. A. Optimum Soybean Seeding Rates by Yield Environment in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110 p. 2430–2438, 2018.
- CORASSA, G. **Manejo por ambiente: atributos de solo e desempenho de cultivares de soja**. 2015. 124p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen, RS.
- DIAS, V. de O.; ALONÇO, A. dos S.; BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.6, p.1721-1728, 2009.
- GIOTTO, E.; SEBEM, E.; CARDOSO, C. D. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7**. UFSM – Laboratório de Geomática, Santa Maria, v. 1, p. 91, 2013.
- HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.14, 450-465, 2013.
- JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO, P.S.M.; ROCIL, J.; GARCIA, L.C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.102-110, 2011.
- MELO, B.M.R.; PAGLIS, C.M.; OLIVEIRA, M.S.; TEIXEIRA, M.B.R.; SILVA, J.S.M.; LIMA, D.F.F. Zonas de manejo em função de propriedades de solo, relevo e produtividade da lavoura cafeeira. **Revista Agrogeoambiental**. Pouso Alegre, v.9, n. 2, 2017.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo, Oficina de Textos. p. 238, 2015.

PIRES, J. L. F.; BRANDAO, Z. N. Experimentação on-farm na agricultura de precisão. 2022. 154p. **Embrapa Trigo**. Documento PDF. Passo Fundo, RS.

POLON, A.; AMADO, T. J.C. Use of electric motors in seeders and gain in productivity in soybean crop. **Journal of Agricultural Sciences Research**, v. 2, n. 16, p. 10, 2022. DOI 10.22533/at.ed.9732162230111.

SANTOS, Flávio Souza. **Seleção de variáveis e definição de zonas de manejo para agricultura de precisão**. 2017. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SARAIVA A. M. CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. 2000. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, p.109-145, 2000.

SILVA, E. E. da. **Semeadura em taxa variável sobre a produtividade das culturas da soja e milho**. 2020. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, MS.

SPERANZA, E. A. OLIM, G. E. de S. INAMASU, R. Y. VAZ, C. M. P.
JORGE, L. A. de C. Delineamento de zonas de manejo para o planejamento de experimentação on-farm na cultura do algodão. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP/2022, Campinas - SP, Brasil. **Anais...** Campinas: ConBAP, p. 386-395, 2022.

UHRY, D. **Avaliação e critério para utilização de semeadora com sistema de taxa variável de sementes na cultura da soja**. 2013. 141p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

ÁREA TEMÁTICA: DESCRIÇÃO DE CASO TÉCNICO E RELATO DE EXPERIÊNCIA



AGRICULTURA REGENERATIVA: ESTUDO DE CASO EM LAVOURA COMERCIAL DE SOJA NO MUNICÍPIO DE ROSÁRIO DO SUL, RIO GRANDE DO SUL

REGENERATIVE AGRICULTURE: CASE STUDY IN A COMMERCIAL SOYBEAN FARM IN THE CITY OF ROSÁRIO DO SUL, RIO GRANDE DO SUL

Modalidade: Descrição de Caso Técnico

Vinícius Santos Dias ¹, Telmo Jorge Carneiro Amado ²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense/Engenheiro Agrônomo,
Avenida Leonel de Moura Brizola, S/N, 96418-400, Bagé – Rio Grande do Sul, Brasil,
viniciusdias@ifsul.edu.br

² Universidade Federal de Santa Maria/ou Profissão e Professor Adjunto do Departamento de Solos
da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Centro de Ciências Rurais. CEP 97119-900 Santa
Maria – Rio Grande do Sul, Brasil, proftelmoamado@gmail.com

RESUMO

A agricultura regenerativa é uma ferramenta para combater a progressiva degradação dos solos agrícolas, pois visa produzir ao mesmo tempo que recupera os solos. Este estudo de caso relata a transição em uma propriedade rural, do sistema de cultivo convencional de soja, para o sistema de agricultura regenerativa na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. O estudo foi composto por observações e avaliações realizadas entre os anos agrícolas 2019 e 2022. Avaliaram-se atributos químicos, físicos e biológicos do solo, produtividade de grãos e análise econômica. Verificou-se que houve aumento da fertilidade química do solo e posterior manutenção. Os atributos físicos do solo não apresentaram valores de resistência à penetração, impeditivos ao bom desenvolvimento da cultura. Os atributos biológicos do solo apresentaram evolução no primeiro ano avaliado, havendo um decréscimo no ano seguinte. Observou-se eficiência produtiva e custo de produção menor que a média regional, revelando que a transição de um sistema convencional de cultivo de soja para o sistema de agricultura regenerativa é viável, sustentável e eficiente.

Palavras-chave: β -glicosidase. Arilsulfatase. *Glycine max*.

ABSTRACT

Regenerative agriculture is a proven alternative to fight the progressive degradation of arable lands, increasing productivity alongside health. This case study reports the transition from conventional soybean production practices to the use of regenerative agriculture, over a three year period, in a farm on the west of Rio Grande do Sul state, Brazil. Observations regarding physical, chemical, and biological attributes of the soil were made during the agricultural years of 2019 and 2022. Furthermore, production yield and cost were also considered, and compared the regional averages. An increase in chemical fertility was quickly achieved, then maintained. Physical attributes seemed to be unaltered in the study period. Biological attributes evolved sharply in the first years, but fell on the third, likely due to a severe draught. Production efficiency seemed to increase throughout the study, and production costs were lower than the regional average by the end of the period. Regenerative agricultural practices seemed to be efficient, sustainable, and economically viable in the studied scenario.

Keywords: β -glicosidase. Arilsulfatase. *Glycine max*.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização da Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) (2021), a população mundial poderá chegar a dez bilhões de habitantes até o ano de 2050, demandando um incremento de em torno de 50% na produção de alimentos. Ressalta-se que muitos dos solos mundiais se encontram em situação de degradação, onde 33,33% deles apresentam condições severas de degradação, sendo que quando considera-se os solos utilizados pela agricultura este número sobe para 40% (BOCALETI et al., 2021).

Frente ao exposto, destaca-se a agricultura regenerativa como uma ferramenta sustentável de produção agrícola, a qual aborda a possibilidade de produzir alimentos enquanto se recuperam os solos. Essa técnica data de 1980, surgiu nos Estados Unidos, e foi idealizada pelo pesquisador e adepto da agricultura orgânica, agricultura regenerativa e jardinagem, Robert Rodale, o qual baseado em teorias da hierarquia ecológica, estudou processos de regeneração e manutenção dos sistemas agrícolas, culturas, produção alimentar, comunidades rurais e consumidores (EHLERS, 1994). A agricultura regenerativa tem como prioridade utilizar ferramentas e técnicas que alterem positivamente a saúde do solo em seus atributos químicos, físicos e biológicos (GAZOLA et al., 2017). *Giller et al. (2021), reuniram princípios e práticas agronômicas que são consideradas parte de um sistema de agricultura regenerativa. O conjunto desses princípios e práticas refletem na recuperação da saúde do solo e na reversão da perda de biodiversidade, são eles: minimização da aragem do solo, manutenção da cobertura de solo, retenção de carbono no solo, ciclagem biológica de nutrientes, fomentação da diversidade de plantas, integração da atividade pecuária, minimização do uso excessivo de pesticidas e favorecimento da infiltração de água no solo.*

Este estudo objetiva descrever e avaliar a viabilidade técnico-econômica da transição de um sistema de cultivo convencional de soja para a agricultura regenerativa na região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul.

2. DESCRIÇÃO DE CASO TÉCNICO

O presente trabalho é um estudo de caso, baseado em dados levantados na Granja Nossa Senhora do Rosário e em avaliações realizadas durante os anos agrícolas 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022. Essa propriedade rural está localizada no município de Rosário do Sul, Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. A propriedade tem como atividade principal o cultivo de soja, onde o sistema utilizado era o cultivo convencional, e a partir do ano de 2019 iniciou-se uma transição para um manejo mais sustentável com a introdução dos princípios da agricultura regenerativa, com vistas a produzir com eficiência e, simultaneamente, preservar o meio ambiente, recuperar solos e otimizar investimentos.

De posse de levantamentos feitos pela proprietária da Granja Nossa Senhora do Rosário, dividiu-se a área experimental em três ambientes para avaliar a eficiência da introdução da agricultura regenerativa, os ambientes foram classificados de acordo com a produtividade alcançada em anos anteriores, sendo denominados: ambientes de baixo, médio e alto potencial produtivo.

Para essa transição de sistemas de cultivo, o uso de insumos químicos começou a ser substituído por insumos biológicos (Tabela 1).

Tabela 1 – Evolução da substituição de insumos químicos por insumos biológicos

Insumos	Número de aplicações por safra		
	2019/2020	2020/2021	2021/2022
Inseticida Químico	2	1	2
Bioinseticida	4	3	5
Fungicida Químico	3	3	0
Biofungicida	5	7	5
Herbicida	3	3	5
Microrganismos Eficientes	0	5	9
Extrato de Composto	0	1	4

Fonte: Autor, 2022.

Parte desses foram adquiridos em formulações prontas para uso e outros multiplicados na biofábrica da propriedade, na chamada multiplicação *on farm* de isolados. Ainda havia aqueles insumos biológicos que advinham de isolados coletados e multiplicados na propriedade, onde cabe destacar os microrganismos eficientes (EM) e o extrato de composto (EC). Para a multiplicação *on farm*, existe na propriedade uma infraestrutura composta por tanques de multiplicação com sistema de aeração, tanques de resfriamento, sala de armazenagem de bioprodutos e um laboratório de controle de qualidade.

No que se refere aos insumos biológicos produzidos a partir de recursos disponíveis na propriedade destacam-se os microrganismos eficientes (EM) e o extrato de composto (EC). Quanto ao EM, estes foram coletados em locais de mata nativa localizada na propriedade, priorizando microrganismos nativos, sendo estes avaliados de acordo com cor das colônias, microrganismos regenerativos (coloridos), degenerativos (cor escura), sendo as colônias coloridas de interesse para a multiplicação e composição do EM. Segundo Bonfim et al. (2011) as colônias apresentando coloração rosada, azulada, amarelada e alaranjada indicam a presença de microrganismos eficientes (regeneradores), já quando apresentar coloração cinza, marrom e preto, são colônias que devem ser descartadas (microrganismos degeneradores). A utilização do EM visou a melhoria da qualidade do solo; recuperação da diversidade; equilíbrio biológico solo/planta; melhoria da qualidade química do solo, e redução da compactação do solo. Sendo a dose e momento de aplicação variáveis de acordo com cada um dos objetivos citados.

O EC foi elaborado a partir da compostagem de materiais oriundos da propriedade, como matéria seca (esterco bovino, cama de aviário, serrapilheira de mata, serragem ou material lenhoso em decomposição e/ou resíduos da seleção de sementes de soja), matéria verde (resíduos vegetais oriundos dos cortes de grama ou poda de árvores), EM, ou outra comunidade de microrganismos disponível, como fonte inicial de inóculo de fungos e bactérias. Segundo Couto et al. (2008), o composto que dá origem ao extrato aquoso é resultado de um processo simples de compostagem, uma técnica que visa transformar uma mistura de materiais vegetais variados e esterco animal em um composto orgânico rico em nutrientes. O processo de transformação desses materiais em composto se dá pela ação de macro e microrganismos.

O uso de EC visava melhorar a estrutura da microbiota do solo; incrementar as proporções de bactérias, fungos, protozoários, nematóides, micro artrópodes e macrofauna; obter proporções adequadas para o melhor funcionamento da biologia do solo; biodisponibilização de nutrientes; aumentar a nodulação na cultura da soja e da fixação biológica de nitrogênio atmosférico; promover o aprofundamento da raízes e aumentar o número de raízes secundárias. Variando doses e frequências de acordo com cada objetivo citado.

Avaliaram-se neste estudo, os atributos químicos e biológicos do solo por meio de coleta e amostragem de solo, sendo para o primeiro atributo foram realizadas amostragens para análise química do solo, na profundidade de 0 - 0,20 m, com cinco repetições e homogeneização para uma amostra composta, conforme descrito no Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (2004). Já para os atributos biológicos foram realizadas amostragens para bioanálise de solo (BioAs) em conformidade com o postulado por Mendes et al. (2018), na profundidade de 0 - 0,10 m, sendo sete subamostras por ponto para formar uma amostra composta, sendo cinco repetições por ambiente produtivo.

Para avaliação da física do solo, realizou-se levantamento em dois anos distintos, 2020 e 2021, utilizando medidor digital de compactação do solo da marca Falker modelo PLG 2040. Foram coletados 7 pontos amostrais em cada ambiente produtivo (baixo, médio e alto) sendo realizadas determinações até a profundidade de 0,40 m, de maneira a se obter os valores em MegaPascal (MPa). Posteriormente, os dados obtidos foram processados em software específico para obtenção dos relatórios e geração da avaliação da resistência à penetração (RP). Em seguida, foram feitas as médias para cada ponto, nas profundidades de 0-0,10 m (RP10), 0,11-0,20 m (RP20), 0,21-0,30 m (RP30) e 0,31-0,40 m (RP40), conforme proposto por Brasil Neto (2018).

Para determinar a produtividade de grãos foram utilizados dados da média de produtividade de cada ambiente produtivo, comparando-se a média de produtividade da região de Rosário do Sul, a partir dos dados reportados nos relatórios da EMATER/RS - ASCAR. Dessa maneira, foi possível averiguar a eficiência produtiva do modelo de manejo com base biológica adotado na propriedade. Visando caracterizar a eficiência econômica da transição para a

agricultura regenerativa, a avaliação dos custos de produção foi realizada de acordo com os custos reportados na região de Rosário do Sul. Para tal, tomou-se como base as informações disponibilizadas pela EMATER/RS ASCAR, em comparativo com os custos levantados das safras 2020/2021 e 2021/2022, na propriedade em estudo.

Comparou-se as análises químicas de solo, desde quando se deu início à transição para a agricultura com base em insumos biológicos, por um período dos três primeiros anos (2019-2020-2021). Observou-se que inicialmente houve um rápido aumento da fertilidade química do solo, especialmente dos teores de fósforo (P) e potássio (K), além da saturação de bases, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo de fertilidade entre os anos 2019 e 2022, de acordo com os ambientes produtivos

Atributo	Baixo				Médio				Alto			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Argila	18	14	14		18	18	20		21	20	23	
Classe	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
pH H2O	5,1	6,4	5,4	5,8	5,22	6,6	5,3	5,5	5,5	6	5,1	5,8
SMP	5,9	7,1	6,8	6,74	5,65	7	5,8	6,1	5,1	6,5	5,6	6,4
P	15,6	76,7	63,5	68,89	8,4	35,8	35,8	6,32	30,4	61,3	23,7	38,4
K	52	246,3	91,9	86,02	77	125,7	243,9	132,9	76	236,3	132,2	93,8
MO	1	1,7	1	1	2	2,3	2,6	1,2	2,1	2,7	2,3	1,8
Al	0,7	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,4	0
Ca	1,7	3,6	2,3	4,02	5,37	8	11,5	7,84	8,6	9,9	8,4	8,5
Mg	0,7	1,4	0,7	2,02	1,28	2,9	3	2,8	2,1	3,1	2,1	2,7
CTC												
Efetiva	3,2	3,3	3,3	6,27	6,93	9,1	15,3	11,01	10,9	11	11,3	11,5
CTC em												
pH7	7,4	6,8	4,9	9,13	13,37	12,7	20,6	15,65	23,2	16,2	17,8	15,34
H+Al	4,9	1,2	1,7	2,86	6,44	1,4	5,5	4,6	12,3	2,6	6,9	3,83
Bases	34,1	82	65,7	68,67	51,82	88	73,5	70,35	46,8	84	61,2	75,03
Al	0	0	1,2	0	0	0	0,8	0	0	0	3,5	0
S	6	17,5	9,8	3,83	6,58	5,9	19,6	7,31	5,6	7,9	2	7,8
Zn	0,42	4,2	1,03	1,53	1,39	1,1	0,91	0,55	1,26	1,4	1,7	0,61
Cu	0,95	0,8	0,44	0,19	1,24	0,6	0,48	0	1,05	0,3	0,7	0
B	0,2	0,4	0,62	0,38	1,26	0,4	0,7	0,85	0,1	0,4	1,07	0,48

Fonte: Autor, 2022.

Esses incrementos não são explicados apenas pela fertilização, que visou atender a exportação da soja. De acordo com Kloepper e Schroth (1981), existem mecanismos que favorecem a absorção de nutrientes às plantas: 1) as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) auxiliam a nutrição das plantas por aumentarem a disponibilidade de nutrientes; 2) atuam no biocontrole de patógenos do sistema radicular, mantendo sua integridade e funcionalidade. Os microrganismos do solo atuam na solubilização de P inorgânico e na mineralização de P orgânico (BERDE et al., 2021). Entre os solubilizadores de P no solo, as bactérias representam 10 a 50% e os fungos 0,1 a 0,5% (BERDE et al., 2021). Neste estudo, o incremento médio (três ambientes produtivos e três épocas) na disponibilidade de P do solo extraído por Melich 1 foi na faixa de 170%.

Para o K, o incremento médio foi de 134,4%. Esse incremento pode ser classificado como alto, pois anteriormente Sugumaran & Janarthanam (2007), ao avaliar solo inoculado com *Bacillus mucilaginosus* reportaram um incremento de 15% no teor de K disponível em solo com teor inicial de 86,6 ppm, valor este ligeiramente superior ao da condição inicial deste estudo. Meena et al. (2016) salientaram que os microrganismos mais importantes na solubilização de K são bactérias solubilizadoras de K (BSK). Para a saturação de bases, neste estudo, o incremento médio foi de 69,5%. Em parte, este valor pode ser atribuído à reação do calcário, à ciclagem durante a entressafra pela pastagem de azevém e a maior atividade biológica pela sucessão de aplicação de bioinsumos.

No tocante aos atributos físicos do solo observou-se que não foram reportados valores impeditivos de resistência à penetração que interferissem no bom desenvolvimento da cultura, já que os valores médios máximos encontrados foram de 1,8 MPa na profundidade de 11 - 20 cm (2020) e de 1,26 Mpa, também, na profundidade 11 - 20 cm (2021). Mesmo que a literatura apresente certa divergência quanto aos valores críticos de RP, avalia-se que os níveis encontrados por este estudo estão abaixo do que alguns trabalhos têm apresentado, como é o caso de Girardello et al. (2014) que encontraram 3,0 MPa como valor crítico de resistência do solo a penetração, causando decréscimo da produtividade de soja a partir daí.

A evolução da atividade biológica foi realizada através da bioanálise de solo, em que tomou-se por base o estudo de duas enzimas, β -glicosidase e arilsulfatase. Nesse viés, a Tabela 3 elucida a variabilidade de acordo com o ambiente produtivo e safra, sendo o intervalo de cada bioindicador pertencente a uma classe de interpretação, conforme proposto por Lopes et al. (2018).

Tabela 3 - Variabilidade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase a longo do período de estudo, suas classes pertencentes em cada intervalo de tempo e ambientes produtivos

ID da amostra	Data	B-glicosidase	Classe	Arilsulfatase	Classe
Baixo	14/12/2020	119,40	Moderado	78,60	Moderado
	01/11/2021	189,10	Moderado	195,40	Adequado
	22/01/2022	98,25	Moderado	184,58	Adequado
Médio	14/12/2020	183,00	Moderado	222,50	Adequado
	01/11/2021	269,40	Adequado	407,70	Adequado
	22/01/2022	139,85	Moderado	318,21	Adequado
Alto	14/12/2020	213,00	Moderado	255,70	Adequado
	01/11/2021	245,10	Adequado	281,00	Adequado
	22/01/2022	146,98	Moderado	462,61	Adequado

Fonte: Autor, 2022.

Observa-se uma evolução dos bioindicadores de qualidade biológica do solo no ano de 2021 em comparação ao ano de 2020, informação que vem ao encontro à intensificação dos processos de agricultura regenerativa na propriedade. Vale enfatizar que os microrganismos estão correlacionados com a qualidade do solo, sendo, junto com a mesofauna, responsáveis por processos de decomposição, mineralização da matéria orgânica e pela regulação dos ciclos dos nutrientes. As práticas de manejo conservacionista influenciam diretamente na transformação do solo ao longo do tempo, podendo toda a biota sofrer oscilações, favoráveis ou não, de acordo com cada ação (De OLIVEIRA SILVA et al., 2021). Vrska (2019), oferece discussão sobre a agricultura regenerativa e os desafios para se produzir de forma mais sustentável, a partir da resiliência dos sócio-agrosistemas, associado diretamente ao aumento da biodiversidade vegetal e animal (micro e macrorganismos), oferecendo incremento de matéria orgânica, infiltração de água no solo e melhorando a fertilidade.

Verifica-se que para as bioanálises realizadas em 2022, em comparação às de 2021, ocorreu redução da atividade da enzima β -glicosidase. Para a arilsulfatase, também se observou um comportamento semelhante, exceto para o ambiente de alto potencial produtivo, o qual se manteve crescente. Acerca do exposto algumas hipóteses foram levantadas quanto aos motivos desse decréscimo, como a necessidade aumento do uso de herbicidas em relação aos anos anteriores (Tabela 1), e em doses elevadas, e condições climáticas no período, que remetem a baixa umidade no solo, motivada pela forte estiagem e elevadas temperaturas. Meena et al (2019) relatam que a aplicação de moléculas herbicidas causa redução da população microbiana, afetando indireta e negativamente a biodiversidade, fisiologia e mecanismos fotossintéticos e, por consequência, a atividade enzimática do solo é prejudicada. Isso se intensifica pela utilização de doses excessivas. Corroboram com essa informação, Dallmann et al. (2010) em que avaliando o efeito recorrente do uso de glifosato, em diferentes doses, na microbiota do solo, associado ao uso de variedades de soja geneticamente modificadas, verificou-se o indicativo de redução da microbiota fúngica do solo, revelando que a utilização de doses maiores de glifosato, 2 e 4 vezes o recomendado, impactaram na redução da população microbiana do solo.

Por fim, Sannino & Gianfreda (2001) avaliaram a influência de quatro herbicidas (glifosato, paraquat, atrazina e carbaril). Os resultados indicaram que o herbicida glifosato pode reduzir em até 98% a atividade da enzima fofostase, inibindo a atividade biológica do solo, e em conclusão, esses pesquisadores confirmaram que os herbicidas podem afetar as atividades das enzimas nos solos.

Outra possibilidade é a influência climática, que na safra 2021/2022 registrou, segundo o INMET, pluviometria extremamente baixa, média de 156,6 milímetros, e temperaturas médias de 23,8 °C, atingindo extremos de até 40,6 °C. Segundo Bononi (2015), oscilações de umidade ao longo do ciclo inferiram em alterações significativas nas comunidades bacterianas e nas atividades

das enzimas nos solos da Caatinga e da Mata Atlântica. Sendo que as atividades enzimáticas nos dois biomas mostraram alterações quando expostas ao efeito do estresse hídrico.

Segundo Melo et al. (2013), onde avaliaram a sazonalidade da atividade da enzima β -glicosidase em solos do cerrado e descreveram que a atividade dessa enzima se mostrou bastante sensível aos diferentes períodos do ano e às condições climáticas impostas. Os autores reportaram que para períodos mais chuvosos houve maiores taxas de atividade enzimática. Já para períodos secos, observou-se praticamente a nulidade da atividade enzimática. Souto et al. (2018), nesse mesmo sentido, comentam que a baixa disponibilidade hídrica e temperaturas superiores a 30 °C geram condições adversas ao crescimento da microbiota, também refletindo em reduzida oferta de alimento para estes organismos.

No sentido de se avaliar a produtividade, o estudo foi balizado pelos dados obtidos e fornecidos pela EMATER/ASCAR - RS, em que a média de produtividade de soja na região de Rosário do Sul na safra 2020/2021 foi de 50 sacas ha^{-1} . Observou-se incrementos de produtividade para todos os ambientes produtivos, frente à média regional, reportando-se superioridade média de produtividade na casa de 29%.

Observou-se no comparativo de custos, que para ambos os anos houve efetividade na utilização dos recursos da Granja Nossa Senhora do Rosário, sendo que para a safra 2020/2021 foi reportado um custo de produção de R\$ 1.602,93 ha^{-1} , frente a um custo regional com média de R\$ 1.785,00 ha^{-1} , o que representa uma economia de 10,2%. Reporta-se para a safra 2021/2022 um custo, na propriedade estudada, de R\$ 1.450,11 ha^{-1} , já a média regional apresentou um custo de R\$ 2.234,97 ha^{-1} , mostrando uma economicidade por parte do manejo adotado na Granja de 35,11% em comparação à média regional.

Alguns trabalhos apresentam resultados em que não há diferenças financeiras significativas nos primeiros anos de transição da agricultura convencional para a agricultura regenerativa, como exposto por Fernández & Aristizábal (2022), em que relatam que a inversão de um sistema convencional para um regenerativo pode não mostrar melhor desempenho financeiro nos primeiros anos de introdução. Em contrapartida este estudo mostrou que desde o primeiro ano de transição, já se observou significativo retorno financeiro.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso demonstrou que a transição de um sistema convencional de cultivo de soja, para o sistema de agricultura regenerativa, é viável e sustentável, porém lento, necessitando de muita dedicação e estudo para implantação. Sendo importante pontuar que esse processo de transição pode oscilar de acordo com cada caso de implantação, variando de propriedade para propriedade, de acordo com manejos anteriormente utilizados, atributos físicos, químicos e

biológicos, dentre outros. Apesar disso, vislumbra-se como uma alternativa urgente e necessária, pois além dos benefícios ao meio ambiente, a agricultura regenerativa tem e terá muito a colaborar com o agronegócio mundial, elevando patamares produtivos, econômicos e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

BERDE, C. P., RAWOOL, P., BERDE, V. B. Phosphate-solubilizing bacteria: Recent trends and applications in agriculture. **Recent Advancement in Microbial Biotechnology**, p. 27-47, 2021.

BOCALETI, L. H. R. *et al.* Sustentabilidade agrícola e saúde do solo. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, p. 1-13, 2021.

BONFIM, F. P. G., HONÓRIO, I. C. G., REIS, I. L., PEREIRA, A. J., DE SOUZA, D. B. **Caderno de microrganismos eficientes (EM)**: Instruções práticas sobre o uso ecológico e social do EM. Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Fitotecnia, 2011. 32p.

BONONI, L. **Impacto da umidade do solo sobre a estrutura das comunidades bacterianas e sobre as atividades enzimáticas em solos da Caatinga e da Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2015.

BRASIL NETO, E. S. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração mecânica em áreas de várzea cultivadas com soja**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)- Santa Maria, 2018.

COUTO, J. R., RESENDE, F. V., SOUZA, R. B., SAMINEZ, T. C. O. **Comunicado Técnico nº 53**: Instruções práticas para produção de composto orgânico em pequenas propriedades. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. 8 p.

DALLMANN, C. M., SCHENEIDER, L., BOHM, G. M. B., KUHN, C. R. Impacto da aplicação de glifosato na microbiota do solo cultivado com soja geneticamente modificada. **Resvista Thema**, v. 7, n. 1, 2010.

DE OLIVEIRA SILVA, *et al.* Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

EHLERS, E. A agricultura alternativa: uma visão histórica. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 24, n. especial, p. 231-262, 1994.

FERNÁNDEZ, M. B. & ARISTIZÁBAL, N. L. **Inversiones en agricultura regenerativa**. Tese de Doutorado. Universidad EAFIT, 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Desenvolvimento sustentável nas indústrias de sementes é vital.** 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/11/1769342>. Acesso em: 04 mai. 2022.

GAZOLA, C. V. *et al.* Benefícios das plantas de cobertura e plantio direto em sistemas de agricultura orgânica regenerativa – uma visão geral. **Revista Conexão** Eletrônica, Três Lagoas, MS, v. 14, n. 1, p. 474-484, 2017.

GIRARDELLO, V. C. *et al.* Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1234 - 1244, 2014.

KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Plant Growth Under Gnotobiotic Conditions. **Ecology and Epidemiology**, v. 71, n. 6, p. 642–644, 1981.

LOPES, M. A. **Os insumos biológicos na agricultura do futuro.** In EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Notícias – 18/09/18. Recursos Naturais, 2018. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37761446/artigo---os-insumos-biologicos-na-agricultura-do-futuro>. Acesso em: 21 mar. 2022.

MANUAL. **Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 edição. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

MEENA, V. S., MAURYA, B. R., VERMA, J. P., & MEENA, R. S. (Ed.). **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture.** New Delhi: Springer, 2016.

MELO, E. N. P. *et al.* Avaliação sazonal da atividade da enzima β -glicosidase em solos do Cerrado. **53º Congresso Brasileiro de Química**. Rio de Janeiro, 2013.

MENDES, I. C. *et al.* Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2018.

GILLER, K. E. *et al.* Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. **Outlook on Agriculture, Sage Journals**. v. 50, n. 1, p. 13-25, 2021.

SANNINO, F. & GIANFREDA, L. Pesticide influence on soil enzymatic activities. **Chemosphere**, v. 45, n. 4-5, p. 417-425, 2001.

SOUTO, P. C., *et al.* Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 151-160, 2008.

SUGUMARAN, P.; JANARTHANAM, B. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 3, n. 3, p. 350-355, 2007.

VRSKA, I. P. I. Agricultura Regenerativa y el Problema de la Sustentabilidad. Aportes para una Discusión. **Economía y Políticas Públicas**, textual 74, p.51-84, 2019.



PLANEJAMENTO DE LINHAS DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS

Planning agricultural operation lines

Modalidade: Descrição de Caso Técnico

Frederico Ravazi de Castro ¹, Ivan Carlos Maldaner ¹, Luciano Zucuni Pes ¹, Marcelo Silveira de Farias ¹, André Müllich ¹, Luiz Felipe Silveira Pavão ¹, Kauane Rubert ¹, Veronica Fuzer Guarienti

¹

¹ Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, fredravazi@hotmail.com, ivan.maldaner@ufsm.br, lucianopes@politecnico.ufsm.br, marcelo.farias@ufsm.br, andre.mullich@hotmail.com, felipepavao14@gmail.com, kauanerubert64@gmail.com, veronicafuzerg@gmail.com

RESUMO

Atualmente, o agronegócio mundial está passando por uma crescente busca pelo aumento da produção de alimentos, ao mesmo tempo em que necessita de um rigor cada vez maior em termos de preservação dos recursos naturais de produção, aumentando a necessidade da adoção de práticas agrícolas de conservação ambiental. Neste sentido, esta descrição de caso técnico tem como objetivo descrever a criação e o uso de projetos de linhas para efetuar as operações nas áreas agrícolas do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Os projetos de linhas foram criados pelos alunos bolsistas do Projeto de Desenvolvimento Institucional Advanced Farm 360, a partir de softwares de Agricultura de Precisão e permitiram o planejamento das operações agrícolas de acordo com as características de cada talhão, garantindo vantagens como a redução da ocorrência de erosões, possibilidade de melhorias no rendimento operacional e aumento na precisão durante as operações.

Palavras-chave: Eletrônica Embarcada. Operações agrícolas. Preservação de recursos.

ABSTRACT

Currently, the global agribusiness sector is experiencing a growing demand for increased food production while requiring stricter measures for the preservation of natural production resources. This increases the need for the adoption of environmentally-friendly agricultural practices. In this context, this Technical Case Description aims to outline the creation and use of row projects for carrying out agricultural operations in the agricultural areas of the Polytechnic College at the Federal University of Santa Maria (UFSM). These row projects were developed by student scholars of the Advanced Farm 360 Institutional Development Project, using Precision Agriculture software. They enabled the planning of agricultural operations based on the characteristics of each plot, ensuring advantages such as reduced erosion occurrences, potential improvements in operational yield, and increased precision during operations.

Keywords: Embedded Electronics, Agricultural operations, Resource preservation.

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio é um dos setores mais importantes para a economia brasileira e está em constante crescimento nos últimos anos. Somente em grãos, o país apresentou produção de cerca de 320,1 milhões de toneladas na safra 2022/23, o que representa um aumento de 17,5% ou 47,6 milhões de toneladas em relação à safra anterior (CONAB, 2023). Esse aumento na produção está sendo possível, em grande parte, devido ao desenvolvimento de novas tecnologias pelo setor de máquinas e implementos agrícolas, o qual também está em constante desenvolvimento. Essas tecnologias se referem principalmente ao uso de eletrônica embarcada em máquinas agrícolas e envolvem, por exemplo, o uso de sensores que permitem aferir diversas variáveis agrônômicas nas lavouras; sistemas de aplicação de insumos em taxa variável e

sistemas que realizam, em campo, o sensoriamento, o processamento dos dados e a atuação durante o movimento das máquinas (PEETS et al., 2012).

O emprego de eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas permite trabalhar com a agricultura de maneira diferente do que era realizado há poucos anos, quando a precisão das operações, a tomada de decisão e o monitoramento de todas as etapas do processo produtivo eram baseados exclusivamente na habilidade humana. Atualmente, existem mecanismos que garantem a automatização das máquinas, o monitoramento e o armazenamento de características de operação em tempo real, o mapeamento e o gerenciamento de dados, além de uma série de funções que otimizam as operações agrícolas.

A Agricultura de Precisão (AP) proporciona um elo entre a eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas e a agricultura. Dessa forma, a AP garante que as ferramentas presentes nas máquinas possam ser aplicadas como um suporte no desenvolvimento das operações, e assim, a agricultura passa a ser exercida com mais critérios e de maneira precisa. Como um dos resultados da interação entre a AP e a eletrônica embarcada em máquinas agrícolas, busca-se a prática de uma agricultura com maior sustentabilidade ao nível econômico, social e ambiental.

Indo ao encontro da busca pelo aumento da sustentabilidade na agricultura, tem sido crescente o uso de projetos de linhas de operações agrícolas, tecnologia que se baseia em um levantamento planialtimétrico prévio dos talhões e após, permite a realização de linhas de operação planejadas, a partir do uso de softwares específicos de Agricultura de Precisão. As etapas, desde a criação até a aplicação dos projetos de linha, envolvem: 1. a realização do levantamento planialtimétrico; 2. o processamento dos dados levantados e a criação dos projetos em softwares de Agricultura de Precisão; 3. a exportação dos projetos para um pen drive; 4. a importação dos projetos para o monitor da máquina agrícola e 6. a execução dos projetos à campo.

O levantamento planialtimétrico é a etapa utilizada para se obter informações detalhadas sobre as características do relevo dos talhões. Esse levantamento envolve a coleta de dados relacionados tanto às coordenadas horizontais (plano) quanto às alturas dos pontos no terreno (altimetria) e utiliza equipamentos como drones ou veículos terrestres, sempre associados a sistemas de posicionamento global e sinal RTK. Com a realização do levantamento planialtimétrico, consegue-se identificar partes do terreno que possuem maior e menor declividade e que, portanto, são mais ou menos suscetíveis à erosão, o que vai ser importante na etapa da criação dos projetos de linhas.

Após o levantamento, são utilizados softwares específicos para a determinação das curvas de nível e, posteriormente, outro software específico, que serve para o planejamento das linhas de orientação (projeto de linhas). Os projetos de linhas podem ser criados para a execução de diferentes operações agrícolas, como linhas de semeadura, linhas mulching vertical, linhas de terraços, linhas de pulverização, entre outras. Os seus principais benefícios para o sistema produtivo é que possibilita, a partir do levantamento planialtimétrico, planejar linhas que nunca percorram o mesmo sentido da declividade do terreno, diminuindo assim a ocorrência de erosões e seus entraves associados. Além disso, esse trabalho possibilita a delimitação dos limites dos talhões e a verificação da melhor forma de execução dos manejos, garantindo o menor número de manobras e, por consequência, o aumento do rendimento operacional.

Após criado o projeto de linhas, as etapas seguintes constituem-se, basicamente, em exportá-lo para um pen drive e importá-lo no monitor da máquina agrícola. Para isso, é necessário que a máquina seja dotada de tecnologias que possibilitem a “leitura” e execução do projeto, o que envolve também o uso de um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e piloto automático.

Esta descrição de caso técnico tem como objetivo relatar a criação e o uso de projetos de linhas para efetuar as operações agrícolas na área agrícola denominada “Área Nova”, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

2. DESCRIÇÃO DE CASO TÉCNICO

A presente descrição de caso técnico foi desenvolvida em uma área agrícola denominada “Área Nova”, pertencente ao Colégio Politécnico UFSM, em Santa Maria - RS, no ano de 2023. Nesta área, que abrange o cultivo de aproximadamente 70 hectares de culturas anuais, o Projeto de Desenvolvimento Institucional “Advanced Farm 360” fomenta ações de Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação na Área da Agricultura de Precisão. Devido ao foco que o projeto possui na área da Agricultura de Precisão, grande parte das operações agrícolas dentro da Área Nova são realizadas com o uso dos projetos de linhas. Neste sentido, serão descritas a seguir as principais etapas da criação e execução de um projeto de linhas de semeadura de mix de plantas de cobertura, desenvolvido no talhão denominado “Campo Nativo”, que apresenta área de 14,6 ha e relativo desnível vertical, o que proporciona a avaliação dos benefícios do uso do projeto de linhas.

A etapa do levantamento planialtimétrico foi realizada via aeronave remotamente pilotada, popularmente denominada como drone, contando com apoio do sistema de RTK. Os equipamentos utilizados nesta etapa foram: drone DJI Phantom 4 e um par de receptores Emlid RTK. No primeiro momento, foi feito o reconhecimento do talhão, com o objetivo de identificar possíveis obstáculos para o voo e a coleta dos dados. Aprovada a viabilidade do voo, procedeu-se com as etapas de escritório, onde foi feita a delimitação do talhão para a elaboração do plano de voo. Nessa etapa foi utilizada a ferramenta Google Earth Pro, informados os limites do talhão e exportado arquivo .KML para elaboração do plano de voo em software apropriado. Para isso, foi utilizada a plataforma Drone Deploy, a qual oferece suporte ao drone utilizado.

No plano de voo foram informadas as configurações técnicas para o levantamento dos dados, tais como velocidade de voo, onde foi definida velocidade de 7 m/s, altura de 100 m, rota que atendesse um bom aproveitamento das baterias do drone, angulação da câmera, sobreposição frontal de 80% e sobreposição lateral de 75% para as fotos, dentre outras configurações, conforme o grau de detalhamento que se pretendia atingir. Configurados os dados, foi feito carregamento do plano no drone para que este pudesse elaborar o voo autônomo e a coleta das imagens, as quais foram a base para geração do levantamento planialtimétrico entre outros produtos.

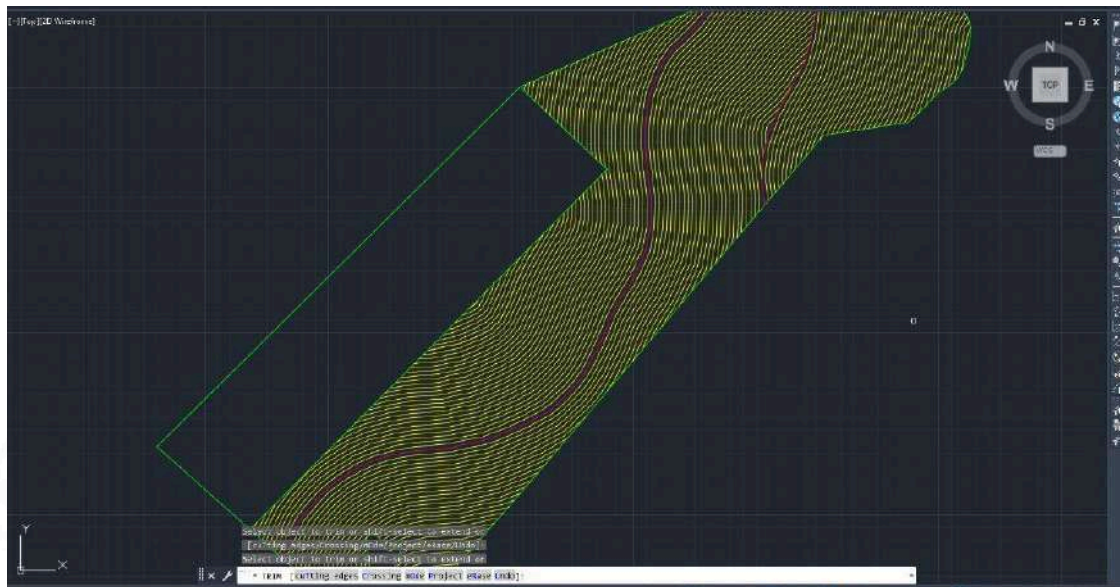
No campo, com condições apropriadas de vento e luminosidade, procedeu-se com a coleta dos dados. Nesse momento entrou em operação o RTK e foram coletados 6 pontos de amarração no talhão, para que, no tratamento dos dados fosse possível a atribuição de coordenadas absolutas diretamente na geração dos produtos cartográficos. Foi então colocado em prática o voo, onde o drone percorreu a rota estabelecida registrando reiteradas fotos, que foram agrupadas na etapa seguinte.

De posse das 182 imagens coletadas pelo drone, passou-se para etapa do tratamento dos dados, onde foi utilizado o software Metashape Pro, da Agisoft, sob licença da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Nesta etapa, foram importadas as imagens no software, feito um alinhamento preliminar, a identificação e atribuição das coordenadas nos respectivos pontos de amarração e então procedeu-se com a geração de uma nuvem de pontos, que é, basicamente, um amontoado de pontos georreferenciados, ou seja, dotados de coordenadas X, Y e Z, os quais foram passados para o software de criação do projeto de linhas na etapa seguinte.

O software utilizado para a criação do projeto de linhas de semeadura foi o AgroCad, devido à uma parceria existente entre a empresa detentora deste software e o Colégio Politécnico da UFSM. Nesta etapa, os dados da superfície do terreno do talhão foram primeiramente

importados para o software e, com base nas características do terreno e da máquina agrícola utilizada na operação, foram definidas as linhas mestres e, paralelamente a elas, o restante das linhas de semeadura (Figura 1).

Figura 1 – Projeto de semeadura de mix de plantas de cobertura criado com AgroCad.



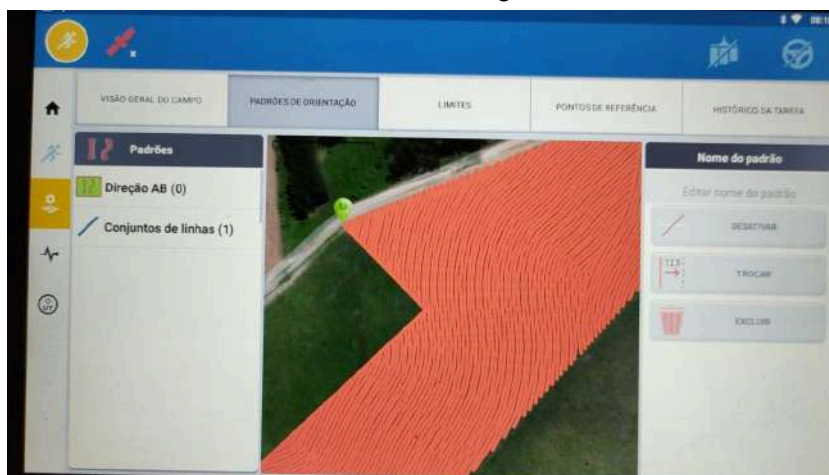
Legenda: em vermelho – linhas mestres; em amarelo – linhas de semeadura; em verde – limites.

Fonte: Captura de tela do AgroCad.

A criação das linhas levou em consideração principalmente as características do relevo do talhão, buscando sempre que o trator e a semeadora percorressem a área no sentido perpendicular ao da declividade, para evitar problemas como a erosão, por exemplo. Além disso, foi inserido no projeto uma área, em formato de retângulo, onde não foi realizada semeadura, área esta que foi destinada a outro uso agrícola.

Após criado o projeto de linhas, o mesmo foi exportado para um pen drive posteriormente importado para o monitor do trator agrícola utilizado para tracionar a semeadora. No trator, foi feita uma pré-visualização do projeto de linhas e verificação do trabalho importado (Figura 2).

Figura 2 – Projeto de semeadura de mix de plantas de cobertura pronto para ser executado no monitor do trator agrícola.



Fonte: Autor (2023).

Em etapa seguinte, foi realizada a operação de semeadura propriamente dita, utilizando um trator agrícola da marca Massey Ferguson, modelo MF 6714R e uma semeadora de mesma marca, modelo MF 320. Na Figura 3, é possível observar, na prática, que a semeadura ocorreu em um sentido perpendicular ao da declividade do terreno.

Figura 3 – Projeto de semeadura de mix de plantas de cobertura sendo executado.



Fonte: Autor (2023).

O mesmo procedimento foi utilizado para a realização da semeadura de outros talhões agrícolas pertencentes à Área Nova do Colégio Politécnico da UFSM. Além disso, foram também efetuadas outras operações na mesma área, como a execução de projetos de mulching vertical e de projetos de terraços, todos eles visando melhorar a interação da água das chuvas com o solo das áreas agrícolas e, dessa forma, evitar problemas como o escoamento superficial de água excessivo e a formação de erosões. O uso de projetos de linhas se tornou ainda mais interessante para a semeadura de culturas de inverno no ano de 2023 porque as previsões meteorológicas informavam, desde antes da semeadura, a ocorrência de elevados acumulados de chuva, o que acabou se concretizando.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração e execução dos projetos de linhas para operações agrícolas se mostrou uma estratégia passível de ser utilizada para minimizar os riscos causados pelo impacto da água das chuvas no solo. Para a criação dos projetos de linhas, foi necessário utilizar ferramentas que estão diretamente ligadas com a Agricultura de Precisão, como a eletrônica embarcada em máquinas agrícolas, os softwares de sistemas de informações geográficas e o Sistema Global de Navegação por Satélite – GNSS, ferramentas estas que são necessárias não somente ao projeto de linhas, mas também para várias outras atividades relacionadas com a AP, o que agregou grande conhecimento.

Ainda que demande um bom hardware para o processamento das imagens coletadas pelo drone, foi obtido um excelente resultado quanto a resolução do ortomosaico, uma resolução espacial de 3,58 cm/pixel, muito superior aos dados obtidos de forma gratuita por meio de satélites de observação da Terra e cartas governamentais.

Já sobre as vantagens obtidas com a utilização de projetos de linhas, é possível destacar o maior uso de critérios para determinar o sentido das linhas de semeadura nos talhões e a possibilidade de se obter maior rendimento operacional nas atividades agrícolas. Foi observado, no entanto, que nem sempre o sentido das linhas de semeadura que vai garantir o melhor rendimento operacional será aquele que garantirá também o menor risco de erosões, cabendo ao projetista a tomada de decisão sobre como realizar este equilíbrio entre rendimento operacional e menor risco de perdas de solo.

REFERÊNCIAS

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira - Grãos: 11º Levantamento de grãos - Safra 2022/23**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023.

PEETS, S. et al. Methods and procedures for automatic collection and management of data acquired from on-the-go sensors with application to on-the-go soil sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 81, n. 1, p. 104-112, Feb. 2012. DOI: 10.1016/j.compag.2011.11.011.

ADVANCED FARM 360: ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO NA AGRICULTURA

*Advanced Farm 360: teaching, research, extension, and innovation in
agriculture*

Modalidade: Relato de Experiência

Luciano Zucuni Pes¹, Ivan Carlos Maldaner², Marcelo Silveira de Farias²

¹Docente do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, número 1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, lucianopes@politecnico.ufsm.br

²Docentes do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, número 1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar o relato de experiência do Colégio Politécnico da UFSM com a Agricultura de Precisão, através do Projeto de Desenvolvimento Institucional Advanced Farm 360. Este projeto foi criado em 2021, com objetivo principal de potencializar as ações de ensino, pesquisa, extensão e inovação na área da Agricultura de Precisão. Desde sua criação, o projeto conta com parcerias das principais empresas do setor do agronegócio (máquinas e implementos agrícolas, sensores de solo e planta, plataformas digitais, sistemas de posicionamento global e de orientação de máquinas, bioinsumos e fertilizantes), o que tem contribuído para a formação de profissionais plenamente capacitados a atuar na área. Além disso, a sociedade também é beneficiada, através das atividades de pesquisa que são desenvolvidas, sendo os resultados repassados aos produtores rurais, através de eventos de extensão. Dessa forma, a difusão e adoção de tecnologias ocorre de maneira mais eficiente, sempre com a preocupação de que sejam economicamente viáveis e mais sustentáveis ambientalmente, comparadas às práticas tradicionais.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Agricultura Digital. Parceria público-privada.

ABSTRACT

The objective of this work is to present the experience report of the UFSM Polytechnic College with Precision Agriculture, through the Advanced Farm 360 Institutional Development Project. This project was created in 2021, with the main objective of enhancing teaching, research, extension, and innovation in Precision Agriculture. Since its creation, the project has had partnerships with the main companies in the agribusiness sector (agricultural machines and implements, soil and plant sensors, digital platforms, global positioning and machine guidance systems, biological products, and fertilizers) which has contributed to the training of professionals fully qualified to work in the area. Furthermore, society also benefits through the research activities that are developed, with the results passed on to rural producers through extension events. In this way, the diffusion and adoption of technologies occurs more efficiently, always with the concern that they are economically viable and more environmentally sustainable, compared to traditional practices.

Keywords: Precision Agriculture. Digital Agriculture. Public-private partnership.

1. INTRODUÇÃO

O Colégio Politécnico é uma Unidade de Educação Básica, Técnica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), prevista no Estatuto Geral da instituição. A instituição oferece, atualmente, Ensino Médio, 18 cursos técnicos, 4 tecnológicos e 2 cursos de pós-graduação. Dentro desta diversidade de Cursos, a Agricultura de Precisão está relacionada diretamente com o Curso Técnico em Agricultura de Precisão e o Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão. Além disso, ela também é abordada nos Cursos Técnico em Agropecuária, Técnico em Agricultura, Técnico e Tecnólogo em Geoprocessamento e a Especialização em Geomática.

Neste contexto, é importante salientar que a instituição possui uma área agrícola de uso didático-experimental, denominada de Área Nova, que é manejada com técnicas da Agricultura de Precisão desde o ano de 2010. Nessa área são desenvolvidas diversas ações de ensino, pesquisa, extensão e inovação ao longo do ano, o que consolida o Colégio Politécnico como um polo de geração e difusão de tecnologias da Agricultura de Precisão.

No ano de 2021, com intuito de potencializar as ações de ensino, pesquisa, extensão e inovação na agricultura, envolvendo, principalmente, a Agricultura de Precisão, foi criado o Projeto de Desenvolvimento Institucional Advanced Farm 360. Esse projeto conta, atualmente, com ações em parceria com diversas empresas privadas, bem como com outras ações da UFSM, como o Projeto Aquarius e a Equipe FieldCrops, do Centro de Ciências Rurais, e o GEDRE (Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos), do Centro de Tecnologia.

Este trabalho tem como objetivo apresentar o relato de experiência do Colégio Politécnico da UFSM com a Agricultura de Precisão, através do Projeto de Desenvolvimento Institucional Advanced Farm 360.

2. RELATO DA EXPERIÊNCIA

As ações do projeto são desenvolvidas na denominada “Área Nova” do Colégio Politécnico, município de Santa Maria - RS, região da Depressão Central, situada nas coordenadas geográficas 29°43' Sul e 53°44' Oeste e altitude média de 100 m. O solo ocorrente é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2005), Unidade de Mapeamento São Pedro. Em relação ao clima, segundo a classificação de Köppen (Köppen, 1948), ele é classificado como subtropical úmido, tipo Cfa 2a. Nessa área agrícola, de 165 hectares, são realizadas atividades de criação de animais (bovinos e ovinos), cultivo de espécies anuais de grãos (soja, milho, trigo e arroz irrigado); cultivo de espécies forrageiras anuais e perenes (aveia preta, azevém, tifton, pensacola e trevo), cultivo de espécies frutíferas (nogueira pecã, citros e oliveira) e cultivo de espécies florestais nativas e exóticas (erva-mate e eucalipto). Neste sentido, a área está assim dividida:

- Cultivos anuais: 60 hectares, sendo 10 hectares irrigados por pivô central.
- Pastagens: 65 hectares.
- Cultivos perenes: 5 hectares.
- Área de preservação / reserva legal: 35 hectares.

Na área destinada para o cultivo de espécies anuais de grãos são implantadas as seguintes culturas:

- Culturas de verão: soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e arroz irrigado (*Oryza sativa*).
- Culturas de inverno: trigo (*Triticum aestivum*).
- Culturas de cobertura de inverno: aveia preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*) e mix de plantas de cobertura.

As áreas em questão são manejadas com tecnologias da Agricultura de Precisão desde o ano de 2010, sendo as principais utilizadas: colheita georreferenciada (histórico de 22 safras);

mapeamento da fertilidade do solo, com coleta georreferenciada em grid de 1 hectare, a cada 3 anos; e a distribuição de fertilizantes à taxa variada. Neste sentido, o Colégio Politécnico disponibiliza os seguintes equipamentos:

- 1 colhedora Massey Ferguson®, modelo 32, com tecnologia embarcada para registro de dados de colheita;
- 1 trator John Deere® 6110J, equipado com piloto automático;
- 1 trator John Deere® 6150M, com piloto automático, rádio RTK e telemetria;
- 1 trator Massey Ferguson® 6714R, equipado com piloto automático, rádio RTK e telemetria;
- 1 distribuidor de sólidos Twister 1500®, com tecnologia de distribuição à taxa variável;
- 1 plantadeira Massey Ferguson® 509, de 9 linhas, com Precision Planting® e taxa variável de fertilizantes;
- 1 pulverizador Massey Ferguson 8225, com telemetria, piloto automático e rádio RTK;
- 1 semeadora de inverno Stara® Ceres, de 12 linhas;
- 1 pulverizador Jacto® Falcon, de 600 litros, equipado com sistema vórtex;
- 1 drone de pulverização Agras T16
- 1 drone de monitoramento Phantom 4
- 1 câmera termal Altum

A primeira etapa do projeto foi a criação de um banco de dados com todas as informações que foram geradas desde 2010 na área. Este banco de dados está disponível para diversas ações, que envolvem ensino, pesquisa, extensão e/ou inovação.

Considerando a dinâmica e velocidade com que ocorre o desenvolvimento das tecnologias (em termos de processos e equipamentos), no segmento da Agricultura de Precisão, o Advanced Farm 360 estabeleceu parcerias com empresas privadas, com intuito de desenvolver ações de ensino, pesquisa, extensão e/ou inovação, com as tecnologias mais modernas disponíveis. Atualmente, existem ações que foram realizadas ou estão em andamento com diversas empresas do agro. Sendo assim, o Advanced Farm 360 possui uma estrutura robusta (Figura 1) para o desenvolvimento das ações de ensino, pesquisa, extensão e/ou inovação, cujos resultados iniciais serão apresentados a seguir.

Figura 1. Principais máquinas utilizadas na safra 2022/2023.



Fonte: Autor (2023).

As ações de ensino, até o momento, foram as mais beneficiadas, tanto no contexto da realização de aulas teóricas, como de aulas práticas. Neste sentido, os docentes do Curso Técnico em Agricultura de Precisão e do Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão têm utilizado, em suas aulas teóricas, as informações oriundas do banco de dados das informações geradas desde 2010. Além disso, estão sendo realizadas aulas práticas, na Área Nova, com máquinas e equipamentos de última geração, disponibilizados pelas empresas parceiras, proporcionando a vivência de situações reais das áreas agrícolas comerciais. Essas vivências são

fundamentais para a formação integral destes profissionais, tornando-os aptos a atuar na Agricultura de Precisão, em suas diferentes abordagens. Anualmente, cerca de 400 alunos dos Cursos Técnicos, Tecnológicos e Pós-Graduação têm contato direto com as atividades desenvolvidas pelo Projeto Advanced Farm 360, na Área Nova do Colégio Politécnico. Também é importante indicar que outros Cursos do Colégio Politécnico também foram beneficiados com a implantação do Projeto Advanced Farm 360, como os Cursos Técnico em Agropecuária, Técnico em Agricultura, Técnico e Tecnólogo em Geoprocessamento e a Especialização em Geomática.

Futuramente, as ações de ensino irão abranger discentes de diferentes níveis de ensino da UFSM (técnico, superior e pós-graduação), das áreas relacionadas com a Agricultura de Precisão, como as Ciências Agrárias, Engenharias e Informática, por exemplo. Sendo assim, será possível ampliar significativamente o número de discentes que terão contato com as tecnologias, fomentando a participação em projetos de ensino, pesquisa, extensão e inovação na área da Agricultura de Precisão, na UFSM.

Em relação à pesquisa, mais de 10 projetos estão em andamento, atualmente, no âmbito do Advanced Farm 360. A maioria destes projetos estão sendo desenvolvidos em parceria com outras iniciativas da UFSM, como o Projeto Aquarius, a Equipe FieldCrops e o Departamento de Engenharia Rural, do Centro de Ciências Rurais, bem como o GEDRE (Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos), do Centro de Tecnologia. Também é importante ressaltar que algumas pesquisas contam com a participação de docentes de outras instituições, como do Grupo de Estudos em Agricultura Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (GEAD/UFRGS) e do Instituto Federal Farroupilha, Campus São Vicente do Sul.

No que tange à extensão, o Advanced Farm 360 realiza, anualmente, dois Dias de Campo, tendo como público-alvo os produtores rurais da Região Central do Rio Grande do Sul, para a difusão de tecnologias da Agricultura de Precisão e da Agricultura Digital. Um Dia de Campo é realizado no mês de março (envolvendo culturas de verão) e o outro no mês de setembro (envolvendo culturas de inverno). Além disso, estão sendo organizados, em parceria com algumas empresas, cursos de curta duração, para qualificação de produtores rurais, operadores de máquinas agrícolas, colaboradores de empresas e comunidade em geral, em tecnologias da Agricultura de Precisão e da Agricultura Digital. Além disso, o projeto já participou de Dias de Campo promovidos em outros municípios do Rio Grande do Sul, como o da Cooperativa Agrícola Água Santa Ltda. (COASA) (Figura 2), que ocorreu no município de Água Santa (RS) e contou com a participação de 1.300 pessoas. Neste evento foram apresentadas as experiências com o drone de pulverização para produtores rurais.

Figura 2. Participação do Projeto Advanced Farm 360 no Dia de Campo da COASA.



Fonte: Autor (2022).

As ações de inovação são coordenadas em conjunto com o Parque de Inovação, Ciência e Tecnologia (INOVATEC) da UFSM. O Advanced Farm 360 tem contribuído em várias iniciativas importantes, entre elas a criação e implantação deste Parque Tecnológico, que será voltado para o agronegócio.

Em relação aos recursos humanos, atualmente o Projeto Advanced Farm 360 conta com três professores coordenadores, 3 professores colaboradores, um servidor técnico-administrativo em educação, 21 alunos bolsistas e 15 alunos voluntários.

Todas as operações e manutenções de máquinas e implementos agrícolas, coletas de solo, colheita das áreas, uso de plataformas digitais, implantação de experimentos, entre outras atividades, são realizadas pelos alunos bolsistas e estagiários do projeto, o que proporciona um maior conhecimento prático e capacitação técnica dos envolvidos. Por exemplo, os alunos têm a oportunidade de fazer o levantamento altimétrico de uma área com um drone, com posterior processamento das imagens, a geração de linhas para semeadura e a execução do trabalho com máquinas equipadas com piloto automático e rádio RTK.

Também é fundamental ressaltar que uma das principais linhas de trabalho do projeto é a “Produção Agropecuária Sustentável”. Neste sentido, o projeto possui parcerias com empresas de produtos biológicos, como a Solubio, que viabilizou a instalação de uma biofábrica na Área Nova. Essa ação está perfeitamente alinhada com o Plano de Desenvolvimento Institucional 2016-2026 da Universidade Federal de Santa Maria e com Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste relato de experiências, pode-se concluir que o Colégio Politécnico da UFSM, através do Projeto de Desenvolvimento Institucional Advanced Farm 360, tem contribuído para a formação de profissionais, que saem da Universidade capacitados para atuar na área da Agricultura de Precisão. Além disso, a sociedade também é beneficiada com as atividades de pesquisa, que são desenvolvidas no âmbito do projeto, sendo elas repassadas aos produtores rurais através de eventos de extensão. As experiências, aprendizados e resultados de pesquisa que chegam ao produtor rural auxiliam na troca de informações entre a Universidade e o campo, contribuindo para que ambos se auxiliem mutuamente. Dessa forma, a difusão e adoção de tecnologias ocorre de maneira mais eficiente, sempre com a preocupação de que sejam economicamente viáveis e ambientalmente mais sustentáveis, em comparação com as práticas tradicionais.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. 374p.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: Con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Economica, México, 1948.

USO DA PLATAFORMA DIGITAL CLIMATE FIELDVIEW™ NO COLÉGIO POLITÉCNICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

Use of the Digital Climate Fieldview™ Platform at the Polytechnic College of the Federal University of Santa Maria

Modalidade: Relato de Experiência

Geizíeli Mergen Röhrs¹; Marcelo Silveira de Farias¹; Ivan Carlos Maldaner¹; Luciano Zucuni Pes¹;
Ingrid Balk Richardt¹; Kauê da Silva Bosi¹; Luiz Felipe Silveira Pavão; Willian dos Santos¹

¹ Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, geizielirohrs@gmail.com, marcelo.farias@ufsm.br, ivan.maldaner@ufsm.br, lucianopes@politecnico.ufsm.br, ingrid-balk@hotmail.com, kauebosi7@gmail.com, felipepavao14@gmail.com, willian.santos@acad.ufsm.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo relatar a experiência dos alunos, bolsistas de Iniciação Científica e de ensino, estagiários e voluntários do Projeto Institucional *Advanced Farm 360*, do Colégio Politécnico, da Universidade Federal de Santa Maria, com a utilização da plataforma digital *Climate Fieldview™*. A plataforma é uma ferramenta da Agricultura Digital, que tem se mostrado importante aliada na Agricultura de Precisão e Digital, para análise e tomada de decisão, com base em dados de uma fazenda. Por meio desta plataforma foi possível avaliar a execução das tarefas, bem como se estava sendo feita de maneira adequada. Também foi gerado um banco de dados com informações de todos os tratos culturais de todos os talhões agrícolas, localizados na denominada Área Nova, do Colégio Politécnico, da UFSM. Os principais dados produzidos foram: velocidade das operações agrícolas mecanizadas, população de plantas, variedades e aplicações de produtos fitossanitários.

Palavras-chave: Alunos. Agricultura de Precisão e Digital. Banco de dados.

ABSTRACT

This work aimed to relate the experience of students, Scientific Initiation and teaching fellows, interns and volunteers from the Advanced Farm 360 Institutional Project, from the Polytechnic College, from the Federal University of Santa Maria, with the use of the Climate Fieldview™ digital platform. The platform is a Digital Agriculture tool, which has proven to be an important ally in Precision and Digital Agriculture, for analysis and decision making, based on data from a farm. Through this platform it was possible to evaluate the execution of tasks, as well as whether it was being done appropriately. A database was also generated with information on all cultural practices of all agricultural plots, located in the so-called New Area, at the Colégio Politécnico, at UFSM. The main data produced were: speed of mechanized agricultural exports, plant population, varieties and applications of phytosanitary products.

Keywords: Students, Precision Agriculture, database.

1. INTRODUÇÃO

A Agricultura Digital (AD) trouxe consigo um patamar tecnológico inovador, que engloba a inserção de diversas tecnologias no ramo agrícola, tais como: a robótica, sensoriamento remoto, geoprocessamento, tomada de decisões e processos estatísticos. Por meio da implementação da AD, houve notável aumento na capacidade de coleta de dados, o que demanda uma abordagem organizacional, como grandes bases de dados (*big data*), para possibilitar a visualização, processamento, análise e/ou disponibilização e tratamento dessas informações (BASSOI, 2019).

Um dos importantes segmentos da AD se refere ao armazenamento e organização de dados sobre as tarefas desenvolvidas nas diferentes operações agrícolas realizadas ao longo das safras. Essa capacidade de armazenamento de dados é importante dentro das propriedades agrícolas porque possibilita o monitoramento da qualidade, como as atividades estão sendo realizadas e também, auxilia nas tomadas de decisão sobre os manejos atuais e futuros dentro das lavouras.

Outro segmento interessante da AD é o uso do sensoriamento remoto na agricultura. Por meio desta ferramenta é possível determinar, por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference of Vegetation Index - NDVI) ou o Índice Relativo de Clorofila, que se relacionam com o teor de nitrogênio na folha, e são exemplos de índices largamente utilizados na agricultura (BASSOI et al., 2019). Por meio da determinação e análise do NDVI, é possível verificar a “saúde” das plantas nos talhões agrícolas, com base em como a planta absorve ou reflete certas frequências da luz, o que é de extrema importância para a tomada de decisão sobre a aplicação de insumos agrícolas.

Mapas de diferentes naturezas já são realidade dentro da AD. São considerados muito interessantes, pois possibilita a visão de extensa área a partir de uma simples tela de dispositivo móvel. Para a geração de mapas, é necessário realizar a coleta de dados na lavoura, por meio de diferentes recursos tecnológicos, como *softwares*, imagens de satélites e drones. A partir da coleta dos dados de interesse pode-se gerar mapas de uma série de atributos agrônômicos dentro de diferentes regiões dos talhões agrícolas. Isso, aliado aos avanços em eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas, possibilita a aplicação de insumos em taxa variável, uma das premissas da Agricultura de Precisão.

Dessa forma, o uso de plataformas de AD dentro das propriedades agrícolas abre um enorme leque de possibilidades para a otimização da produção agrícola, permitindo que a agricultura seja praticada com base em dados e, dessa forma, de maneira precisa. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo relatar a experiência dos alunos, bolsistas de Iniciação Científica e de ensino, estagiários e voluntários do Projeto Institucional *Advanced Farm 360*, do Colégio Politécnico, da Universidade Federal de Santa Maria, com a utilização da plataforma digital *Climate Fieldview™*.

2. RELATO DA EXPERIÊNCIA

A utilização da plataforma de AD da Bayer, *Climate FieldView™*, teve início no ano de 2021 pelos alunos do Projeto *Advanced Farm 360*, do Colégio Politécnico, da Universidade Federal de Santa Maria, e se estende até os dias de hoje. Com o auxílio da tecnologia no dia a dia da rotina dos alunos, tem-se a oportunidade de conhecer e praticar as atividades em campo. Desta forma, depois de formados, já no mercado de trabalho, os alunos conseguem desempenhar com excelência tarefas que incluam esse tipo de tecnologia. A seguir, serão descritos alguns tópicos sobre as principais tarefas desempenhadas com o uso da plataforma *Climate FieldView™*, no âmbito do projeto *Advanced Farm 360*.

2.1 Plantabilidade

Uma das ferramentas disponibilizadas pela plataforma é o *FieldView™ Drive*, um dispositivo que coleta e processa as informações geradas pelos equipamentos durante as operações agrícolas mecanizadas, em campo. Dessa forma, durante a semeadura das culturas, por exemplo, nos talhões da Área Nova, consegue-se gerar mapas e relatórios contendo informações como a velocidade da operação (Figura 1).

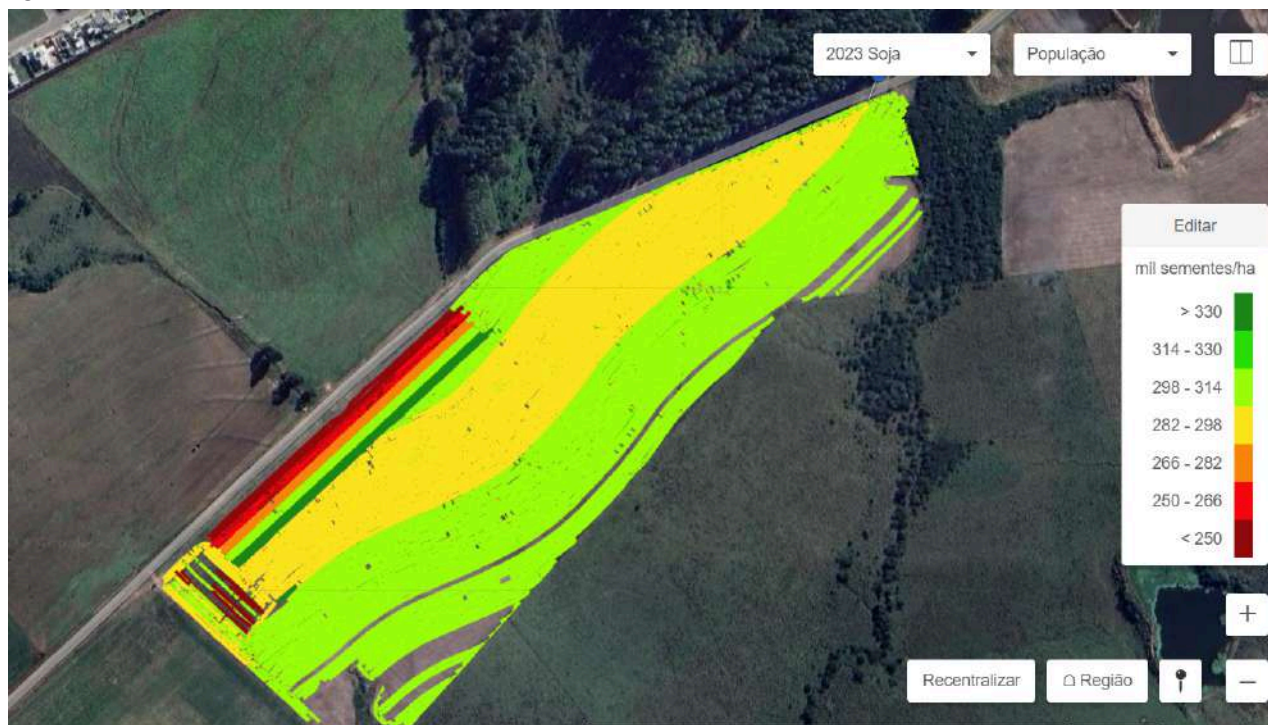
Figura 1 - Mapa de velocidade de semeadura.



Fonte: <https://climate.com/static/field-selection-web/>.

A velocidade de operação para semeadura entre 4 e 6 km/h é dita como adequada (SEIXAS, 2020). Tendo em vista este fato, para conseguir melhor uniformidade na distribuição longitudinal de sementes, é de extrema importância acompanhar esta atividade, a fim de analisar a qualidade de semeadura. Além disso, com o uso da plataforma digital é possível avaliar se a semeadura está sendo executada com a velocidade ideal e mapear regiões do talhão onde isso não foi feito. A densidade de semeadura (número de sementes/hectare) também é avaliada dentro do Projeto Advanced Farm 360 (Figura 2), tendo em vista que, para o estabelecimento e desenvolvimento adequado das culturas é extremamente necessário seguir a orientação dos detentores da genética das sementes, a respeito da densidade ideal a ser utilizada para cada cultivar (SEIXAS, 2020). O uso de densidade de semeadura acima ou abaixo do recomendado pelas empresas pode causar distúrbios no desenvolvimento das plantas, o que normalmente reflete em redução da produtividade das culturas.

Figura 2 - Mapa de densidade de semeadura (número de sementes/hectare) de soja, no talhão agrícola denominado “Campo Nativo”.



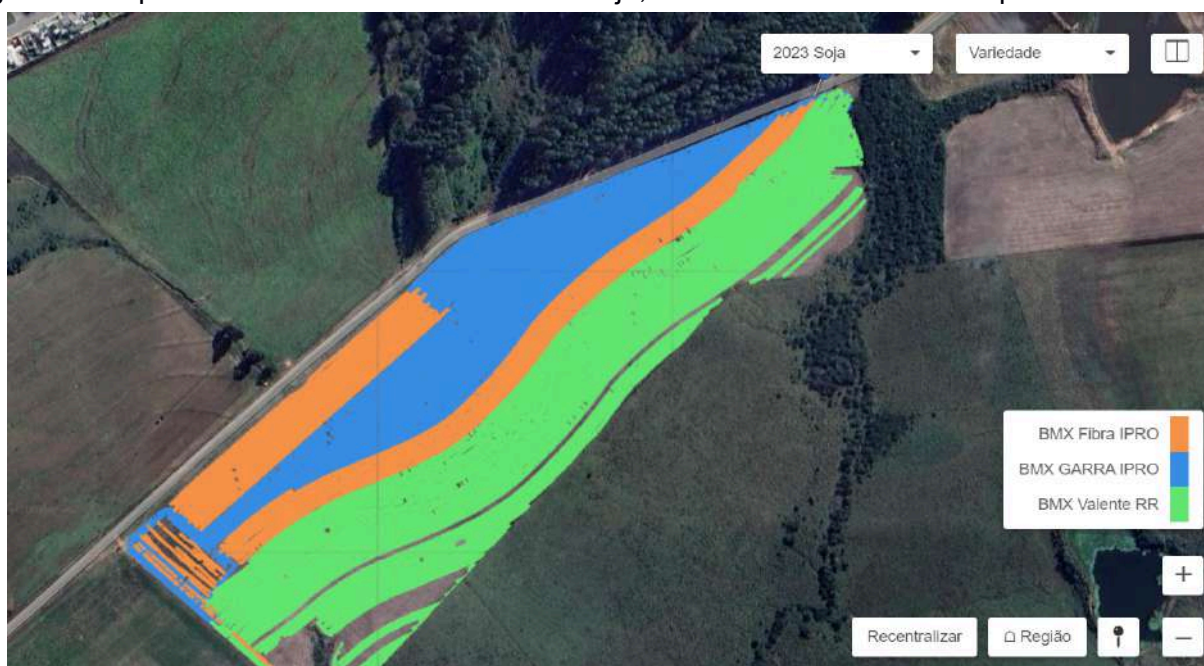
Fonte: <https://climate.com/static/field-selection-web/>

2.2 Cultivares

O Projeto Advanced Farm 360 trabalha com inúmeros experimentos, buscando gerar resultados práticos, tanto de forma qualitativa quanto quantitativa. Sendo assim, em cada safra há demanda pelo processo de análise das características agrônômicas das cultivares, de maneira individual. Neste contexto, a plataforma *Climate Fieldview™* auxilia os alunos com o mapeamento e monitoramento nos talhões, possibilitando verificar e armazenar dados sobre cada cultivar (Figura 3). Por meio dos dados fornecidos pelo radar meteorológico da plataforma, pode-se monitorar as condições atmosféricas e entender como cada cultivar se comporta em eventos adversos, como estresse hídrico ou excesso de chuvas, por exemplo.

Embora as plataformas digitais tragam muitos benefícios para a agricultura, precisam também de pessoas que se comprometam com a sua utilização de forma adequada. Neste caso, quando os alunos fazem a transmissão de dados, inserindo os nomes das cultivares em seus respectivos locais no talhão, é necessário que tenham muito cuidado para digitar os nomes das cultivares de maneira correta. Caso ocorra o contrário, haverá uma mistura de dados das diferentes cultivares, e os mesmos não ficarão seguros. Portanto, o uso das ferramentas digitais deve ser feito de maneira adequada, cadastrando informações corretas e precisas para que, posteriormente, sejam gerados resultados exatos, acarretando na assertividade da tomada de decisão, para sequência das operações e manejos na lavoura.

Figura 3 - Mapa de variedades de cultivares de soja, semeadas no talhão “Campo Nativo”.

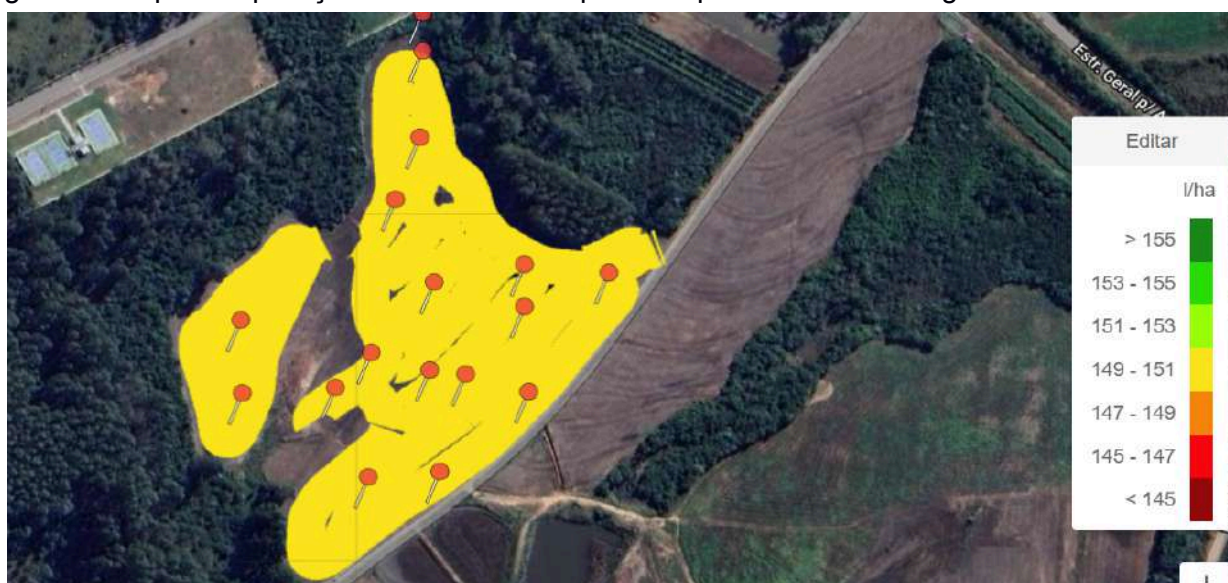


Fonte: <https://climate.com/static/field-selection-web/>

2.3 Aplicações de produtos fitossanitários

A dose correta de produtos químicos é essencial para garantir a eficiência no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, além de evitar desperdícios e prejuízos financeiros. Para calcular a dose correta, é necessário levar em consideração a vazão do pulverizador, tipo de ponta utilizada, o alvo a ser atingido, tamanho de gota, o tempo gasto na operação e a recomendação de dose do produto em questão. Neste sentido, a *Climate FieldView™* auxilia no monitoramento das aplicações de produtos fitossanitários na Área Nova, do Colégio Politécnico, possibilitando a identificação de problemas durante a operação e também o mapeamento da taxa de aplicação que foi utilizada em cada talhão agrícola (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de aplicação de determinado produto químico e sua dosagem.



Fonte: <https://climate.com/static/field-selection-web/>

A partir da utilização das plataformas digitais, teve-se a facilidade no armazenamento de dados, no monitoramento das operações agrícolas e nas tomadas de decisão dentro da Área Nova, do Colégio Politécnico, que pertence à uma Instituição de Ensino Superior (UFSM). O uso dessas ferramentas também é uma estratégia interessante para a organização das atividades dentro de propriedades agrícolas. Na região de Santa Maria, RS, local em que foi descrito este relato de experiência, é possível observar que muitas propriedades já adotam plataformas digitais, principalmente aquelas que possuem maiores áreas e quadro de funcionários.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Colégio Politécnico, da UFSM conta com a parceria de, pouco mais de dois anos, com a plataforma *Climate FieldView™*, a qual auxilia os alunos nos manejos e nas atividades realizadas dentro do Projeto *Advanced Farm 360*. Em dois anos de utilização da plataforma digital pôde-se verificar que, ela fornece uma variedade de recursos, incluindo dados de sensoriamento remoto, imagens aéreas e ferramentas de análise de dados, que podem ser usados para monitorar o crescimento das culturas, identificar problemas e tomar decisões em tempo real, sobre a gestão da lavoura e das operações agrícolas mecanizadas.

REFERÊNCIAS

BASSOI, Luís Henrique *et al.* Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, p. 17-36, dez. 2019.

SEIXAS, Claudine Dinali Santos et al. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223209/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em 28 de março de 2022 DOI: [dx.doi.org/10.23925/1984-3585.2019i20p17-36](https://doi.org/10.23925/1984-3585.2019i20p17-36). Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/teccogs/article/view/48542/32042>. Acesso em: 12 set. 2023.

SILVA, J. M. P.; CAVICHIOLI, F. A. O USO DA AGRICULTURA 4.0 COMO PERSPECTIVA DO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE NO CAMPO. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 616–629, 2020. DOI: [10.31510/inf.v17i2.1068](https://doi.org/10.31510/inf.v17i2.1068). Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1068>. Acesso em: 20 set. 2023.

USO DE DRONES DE PULVERIZAÇÃO: EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS COM BIOINSUMOS

Use of spraying drones: Experiences and perspectives with bioinputs

Modalidade: Relato de Experiência

Letícia Siqueira Posser¹, Ivan Carlos Maldaner¹, Luciano Zucuni Pes¹, Marcelo Silveira de Farias¹,
Lúcio de Paula Amaral¹, Kauane Rubert¹, Frederico Ravazi de Castro¹, Luiz Felipe Silveira Pavão¹

¹ Colégio politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, nº. 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, leticias.posser@gmail.com, ivan.maldaner@ufsm.br, lucianopes@politecnico.ufsm.br, marcelo.farias@ufsm.br, lúcio.amaral@ufsm.br, kauanerubert64@gmail.com, fredravazi@hotmail.com, felipepavão14@gmail.com

RESUMO

A agricultura nos últimos anos recebeu expressivos avanços tecnológicos, que auxiliam para uma produção mais eficiente e sustentável, um exemplo disso é o uso de aeronaves remotamente pilotadas. Em áreas agrícolas experimentais, o cuidado com fatores que podem interferir no objeto de estudo é extremamente importante para não afetar os resultados. Nesse sentido, o uso de drones de pulverização para aplicação de bioinsumos é uma alternativa interessante, visto que, pode trazer efeitos benéficos. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo compartilhar a experiência obtida na Área nova do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, um viés sobre o uso de drones de pulverização, através de experimentos com aplicação de bioinsumos em diferentes culturas. Essa tecnologia é promissora podendo desempenhar um papel positivo e revolucionário no setor agropecuário.

Palavras-chave: Agricultura, Tecnologia, Drones.

ABSTRACT

Agriculture in recent years has received significant technological advances, which help towards more efficient and sustainable production, an example of this is the use of remotely piloted aircraft. In experimental agricultural areas, being careful with factors that may interfere with the object of study is extremely important so as not to affect the results. In this sense, the use of spraying drones to apply bio-inputs is an interesting alternative, as it can bring beneficial effects. Thus, the present work aimed to share the experience obtained in the New Area of the Polytechnic College of the Federal University of Santa Maria, a bias on the use of spraying drones, through experiments with the application of bio-inputs in different crops. This technology is promising and can play a positive and revolutionary role in the agricultural sector.

Keywords: Agriculture, Technology, Drone.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura visa atender à crescente demanda por alimentos e a busca por inovação se tornou fundamental para uma produção sustentável e mais eficiente. Para suprir essa necessidade, surgiu a agricultura de precisão, que é um conjunto de ferramentas tecnológicas capazes de identificar estratégias para um gerenciamento agrícola que visa aumentar o retorno econômico, além de causar menor impacto ao meio ambiente (MOLIN, 2015). A agricultura de precisão engloba técnicas, como o sistema de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto e uso de mapas que consideram as singularidades de cada parcela da área de trabalho. Isso ocorre, pois cada local possui características diferentes, e essas ferramentas visam reduzir o desperdício e melhorar a eficiência da produção.

Entre os equipamentos utilizados, o desenvolvimento das aeronaves remotamente pilotadas (RPA), surgiu como uma importante alternativa no setor agropecuário. Segundo a (ANAC, 2023), até setembro de 2023, haviam sido registrados 121.563 drones no Estado, sendo

utilizados para diversos segmentos, como análise de terrenos, monitoramento de culturas, levantamento de danos para zoneamento agrícola e incluindo para uso aeroagrícola, (CARVALHO et al., 2020). Sua utilização na área agrícola é facilitada pelo seu atual desenvolvimento tecnológico, principalmente devido à redução de custo e do tamanho do equipamento, o que favorece o aumento da produção.

Contudo, é necessário analisar que, apesar do crescente interesse sobre essa tecnologia, ainda há uma lacuna considerável na disponibilidade de estudos que abrangem informações sobre seu uso. Portanto, esse trabalho tem como principal objetivo, compartilhar experiências obtidas através do uso de drones de pulverização para aplicação de bioinsumos.

2. RELATO DA EXPERIÊNCIA

Áreas agrícolas experimentais demandam uma atenção especial, não podendo sofrer interferência de fatores bióticos e abióticos, quando esses são objetos de estudo, devido ao fato que os resultados obtidos posteriormente serão utilizados em benefício do setor agropecuário. Desse modo, substituir a aplicação convencional de produtos pelo uso de drones de pulverização aérea, pode ser uma alternativa vantajosa, uma vez que, este equipamento permite sobrevoar áreas cultivadas com rotas planejadas (Figura 1), sendo capaz realizar aplicações com maior precisão, já que áreas de experimento são menores que lavouras comerciais, além de reduzir o tempo envolvido na atividade

Figura 1. Print de tela do rádio controle do drone de pulverização com plano de voo para aplicação de *Azospirillum brasilense*.



Fonte: Autores (2023).

Sendo assim, o presente relato de experiência ocorreu através de estudos realizados na Área Nova do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, região da depressão central do Rio Grande do Sul. Utilizou-se drone de pulverização para realização de distintos experimentos, os quais envolviam aplicações de bioprodutos, em pastagens de inverno e verão, também em culturas como a soja, arroz, milho e trigo (Figura 2 e 3). Os bioprodutos utilizados foram bactérias capazes de realizar associações e simbioses proveitosas para as culturas, ou atuando como promotoras de crescimento.

Figura 2. Aplicação de *Azospirillum brasilense* com drone de pulverização na cultura do milho.



Fonte: Autores

Figura 3. Aplicação de inoculante biológico à base de bactérias fermentadoras para produção de pré-secado de trigo.



Fonte: Autores (2023).

O drone utilizado foi da marca DJI, modelo AGRAS T16 (Figura 4), o qual possui reservatório de calda de pulverização de 16 litros e bateria com autonomia de cerca de 10 minutos de voo. Conta com sistema de pulverização de quatro bombas de diafragma e oito pontas de pulverização, modelo XR11001VS, com tamanho de gota de 130 a 250 μm e largura de aplicação

de 4,0 a 6,5 metros, possibilitando uma aplicação homogênea sobre as culturas, podendo realizar o voo na altura equivalente a largura necessária.

Figura 4. Drone de pulverização utilizado para realização do estudo.



Fonte: Autores (2023).

As vantagens do uso de drones, também podem ser demonstradas através da ausência de amassamento da cultura e compactação do solo, com possibilidade de realizar aplicações em locais de difícil acesso ou em condições de solo úmido, já que através da aplicação convencional não seria possível. As aeronaves remotamente pilotadas também possuem um baixo preço de aquisição como de manutenção, trazendo uma alternativa mais econômica, além de não submeter o aplicador a condições de exposição a agrotóxicos.

Essa tecnologia vem sendo bastante utilizada para aplicação de bioinsumos, pois permite a aplicação nos momentos de maior eficiência das bactérias ou fungos. Para obter um maior efeito na aplicação deve-se ter uma boa cobertura sobre a cultura a fim atingir o alvo e garantir a eficácia (OLIVEIRA et al., 2022). Para aplicação de bioprodutos vem sendo utilizado 40 l ha⁻¹ a fim de proporcionar uma boa cobertura de calda sobre a cultura. Os cuidados com produtos biológicos começam desde a aquisição, frente a resistência térmica e a radiação solar, a fim de evitar perda na eficácia, sendo assim, o melhor momento de aplicação é a noite (devido à ausência de radiação ultravioleta).

Outro ponto positivo do uso das ARP é quanto a preparação da calda, pelo fato de alguns bioinsumos estarem disponíveis na forma de pó molhável, Ex: *Trichoderma sp.* logo, é importante que a preparação seja no momento do reabastecimento, pois quando parar a agitação há a possibilidade de separação das fases da calda (OLIVEIRA et al., 2022). Sendo assim, quanto maior o tempo de aplicação, mais provável de ocorrer essa separação, e com a rapidez dos drones essa probabilidade se reduz.

Mesmo com as vantagens que essa tecnologia pode proporcionar, é necessário um cuidado no momento de aplicação, respeitando as condições meteorológicas como temperatura do ar, vento e umidade do ar, a fim de obter uma aplicação eficiente e de qualidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de drones de pulverização agrícola se revela uma alternativa vantajosa e promissora para utilização com bioinsumos. Isso ocorre devido a sua eficácia e praticidade para entrada na lavoura no momento correto do manejo para a cultura e proporcionar condições mais

favoráveis para o agente biológico se desenvolver. Outro fator importante é como muitas vezes os produtos biológicos apresentam um intervalo menor entre aplicações, com as aplicações de drone não amassamento da cultura e compactação do solo, fatores que devem ser levados em consideração para uma maior produtividade da área. Além disso, esse estudo possibilitou uma visão ainda mais ampla no que tange o uso da tecnologia dos drones, principalmente a nível experimental. Portanto, a eficácia e os pontos positivos do uso dessa técnica só serão observados se ocorrer os cuidados corretos no momento de aplicação, principalmente com uma tecnologia de aplicação adequada para o agente biológico que está sendo aplicado.

REFERÊNCIAS

- MOLIN, José Paulo; DO AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão**. Oficina de textos, 2015. Acesso em: 27 ago. 2023.
- ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Drones cadastrados**. Painel de Drones Cadastrados. Brasília: ANAC, 2022. Acesso em: 18 set. 2023
- CARVALHO, Fernando K. et al. Desafios das aplicações de pulverização em aeronaves e drones. **Perspectivas sobre Manejo de Pragas**, v. 31, n. 2, pág. 83-88, 2020.
- OLIVEIRA, R. B. et al. **Tecnologia de aplicação foliar de bioinsumos**. Bioinsumos na Cultura da Soja, cap. 6, Embrapa, 2022.



Organização



NÃO-ME-TOQUE
CAPITAL NACIONAL DA AGRICULTURA DE PRECISÃO



SISTEMA FARSUL
FARSUL | SENAR | CASA RURAL



cotrijal | **TODOS JUNTOS SOMOS FORTES**



UFSM

Patrocínio Diamante

Stara
Evolução Constante



Kingdom of the Netherlands



Patrocínio Ouro



SENAR



JOHN DEERE

coprel 
telecom



MASSEY FERGUSON

EXATA
Brasil

Patrocínio Bronze



Sicredi

Koppert



BIOTROP
Soluções em Tecnologia Biológica

Apoio



SEMATER/RS



WAGENINGEN UR
For quality of life

Editora CESPOL/UFSM

ISBN: 978-65-990392-5-6

WWW.APSULAMERICA.COM.BR