

# **PESQUISAS EM MANEJO, CONSERVAÇÃO E CIÊNCIA DO SOLO**

**Denise dos Santos Vila Verde  
Luanna Alves Miranda  
Francineuma Ponciano de Arruda  
Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira  
Organizadoras**



# PESQUISAS EM MANEJO, CONSERVAÇÃO E CIÊNCIA DO SOLO

Denise dos Santos Vila Verde  
Luanna Alves Miranda  
Francineuma Ponciano de Arruda  
Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira  
Organizadoras



Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

Denise dos Santos Vila Verde  
Luanna Alves Miranda  
Francineuma Ponciano de Arruda  
Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira  
Organizadoras

# Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo

Volume 1

 **Wissen**  
editora  
Teresina-PI, 2025

©2025 by Wissen Editora  
Copyright © Wissen Editora  
Copyright do texto © 2025 Os autores  
Copyright da edição © Wissen Editora  
*Todos os direitos reservados*

Direitos para esta edição cedidos pelos autores à Wissen Editora.



Todo o conteúdo desta obra, inclusive correção ortográfica e gramatical, é de responsabilidade do(s) autor(es). A obra de acesso aberto (Open Access) está protegida por Lei, sob Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional, sendo permitido seu *download* e compartilhamento, desde que atribuído o crédito aos autores, sem alteração de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

**Editores Chefe:** Dr. Junielson Soares da Silva  
Ma. Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira  
Dra. Denise dos Santos Vila Verde  
Dra. Adriana de Sousa Lima

**Projeto Gráfico e Diagramação:** Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira

**Imagem da Capa:** Canva

**Edição de Arte:** Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira

**Revisão:** Os autores  
As Organizadoras

#### Informações sobre a Editora

Wissen Editora  
Homepage: [www.editorawissen.com.br](http://www.editorawissen.com.br)  
Teresina – Piauí, Brasil  
E-mails: [contato@wisseneditora.com.br](mailto:contato@wisseneditora.com.br)  
[wisseneditora@gmail.com](mailto:wisseneditora@gmail.com)

#### Siga nossas redes sociais:



@wisseneditora

**EQUIPE EDITORIAL****Editores-chefes**

Dr. Junielson Soares da Silva  
 Ma. Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira  
 Dra. Denise dos Santos Vila Verde  
 Dra. Adriana de Sousa Lima

**Equipe de arte e editoração**

Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira

**CONSELHO EDITORIAL****Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Dr. Felipe Górski - Secretaria de Educação do Paraná (SEED/PR)  
 Dra. Patrícia Pato dos Santos - Universidade Anhanguera (Uniderp)  
 Dr. Jose Carlos Guimaraes Junior - Governo do Distrito Federal (DF)

**Ciências Biológicas e da Saúde**

Dra. Francijara Araújo da Silva - Centro Universitário do Norte (Uninorte)  
 Dra. Rita di Cássia de Oliveira Angelo - Universidade de Pernambuco (UPE)  
 Dra. Ana Isabelle de Gois Queiroz - Centro Universitário Ateneu (UniAteneu)

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Dr. Allan Douglas Bento da Costa - Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)  
 Dra. Vania Ribeiro Ferreira - Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)  
 Dr. Agmar José de Jesus Silva – Secretaria de Educação do Amazonas (Seduc/AM)

**Linguística, Letras e Artes**

Dra. Conceição Maria Alves de A. Guisardi - Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Dr. Isael de Jesus Sena - Culture, Education, Formation, Travail (CIRCEFT)  
 Dra. Mareli Eliane Graupe - Universidade do Planalto Catarinense (Uniplac)  
 Dr. Rodrigo Avila Colla - Rede Municipal de Ensino de Esteio, RS  
 Dr. Erika Giacometti Rocha Berribili - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)  
 Dr. Douglas Manoel Antonio De Abreu P. Dos Santos - Universidade de São Paulo (USP)  
 Dra. Aline Luiza de Carvalho - Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais (FHEMIG)  
 Dr. José Luiz Esteves - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR)  
 Dr. Claudemir Ramos - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP)  
 Dr. Daniela Conegatti Batista – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
 Dr. Wilson de Lima Brito Filho - Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
 Dr. Cleonice Pereira do Nascimento Bittencourt- Universidade de Brasília (UnB)  
 Dr. Jonata Ferreira de Moura - Universidade Federal do Maranhão (UFMA)  
 Dra. Renata dos Santos - Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

**Conselho Técnico Científico**

- Me. Anderson de Souza Gallo - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)  
 Ma. Antônia Alikeane de Sá - Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
 Ma. Talita Benedcta Santos Künast - Universidade Federal do Paraná (UFPR)  
 Ma. Irene Suelen de Araújo Gomes – Secretaria de Educação do Ceará (Seduc /CE)  
 Ma. Tamires Oliveira Gomes - Universidade Federal de São Paulo (Unifesp)  
 Ma. Aline Rocha Rodrigues - União Das Instituições De Serviços, Ensino E Pesquisa LTDA (UNISEPE)  
 Me. Mauricio Pavone Rodrigues - Universidade Cidade de São Paulo (Unicid)  
 Ma. Regina Katiuska Bezerra da Silva - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
 Esp. Rubens Barbosa Rezende – Faculdade UniFB  
 Me. Luciano Cabral Rios – Secretaria de Educação do Piauí (Seduc/PI)  
 Me. Jhenys Maiker Santos - Universidade Federal do Piauí (UFPI0)  
 Me. Francisco de Paula S. de Araujo Junior - Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)  
 Ma. Anna Karla Barros da Trindade - Instituto Federal do Piauí (IFPI)  
 Ma. Elaine Fernanda dos Santos - Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
 Ma. Lilian Regina Araújo dos Santos - Universidade do Grande Rio (Unigranrio)  
 Ma. Luziane Said Cometti Lélis - Universidade Federal do Pará (UFPA)  
 Ma. Márcia Antônia Dias Catunda - Devry Brasil  
 Ma. Marcia Rebeca de Oliveira - Instituto Federal da Bahia (IFBA)  
 Ma. Mariana Moraes Azevedo - Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
 Ma. Marlova Giuliani Garcia - Instituto Federal Farroupilha (IFFar)  
 Ma. Rosana Maria dos Santos - Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)  
 Ma. Rosana Wichineski de Lara de Souza - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)  
 Ma. Simone Ferreira Angelo - Escola Família Agrícola de Belo Monte - MG  
 Ma. Suzel Lima da Silva - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
 Ma. Tatiana Seixas Machado Carpenter - Escola Parque  
 Me. Cássio Joaquim Gomes - Instituto Federal de Nova Andradina / Escola E. Manuel Romão  
 Me. Daniel Ordane da Costa Vale - Secretaria Municipal de Educação de Contagem  
 Me. Diego dos Santos Verri - Secretária da Educação do Rio Grande do Sul  
 Me. Fernando Gagno Júnior - SEMED - Guarapari/ES  
 Me. Grégory Alves Dionor - Universidade do Estado da Bahia (UNEB)/ Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
 Me. Lucas Pereira Gandra - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); UNOPAR, Polo Coxim/MS  
 Me. Lucas Peres Guimarães – Secretaria Municipal de Educação de Barra Mansa - RJ  
 Me. Luiz Otavio Rodrigues Mendes - Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
 Me. Mateus de Souza Duarte - Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
 Me. Milton Carvalho de Sousa Junior - Instituto Federal do Amazonas (IFAM)  
 Me. Sebastião Rodrigues Moura - Instituto Federal de Educação do Pará (IFPA)  
 Me. Wanderson Diogo A. da Silva - Universidade Regional do Cariri (URCA)  
 Ma. Heloisa Fernanda Francisco Batista - Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)  
 Ma. Telma Regina Stroparo - Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro)

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

Me. Sérgio Saraiva Nazareno dos Anjos - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
(Embrapa)

# Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo

 <http://www.doi.org/10.52832/wed.147>

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

Pesquisas em manejo, conservação e ciência do solo [livro eletrônico]: volume 1 / organizadoras Denise dos Santos Vila Verde... [et al.]. -- Teresina, PI: Wissen Editora, 2025.

PDF

Vários autores.

Outras organizadoras: Luanna Alves Miranda, Francineuma Ponciano de Arruda, Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira.

Bibliografia.

ISBN 978-65-85923-49-1

DOI: 10.52832/wed.147

1. Ciência do solo 2. Geociências 3. Solos Conservação 4. Solos - Manejo I. Verde, Denise dos Santos Vila. II. Miranda, Luanna Alves. III. Arruda, Francineuma Ponciano de. IV. Oliveira, Neyla Cristiane Rodrigues de.

25-270076

CDD-551.1

## Índices para catálogo sistemático:

1. Geociências 551.1

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

## Informações sobre a Wissen Editora

Homepage: [www.editorawissen.com.br](http://www.editorawissen.com.br)

Teresina - Piauí, Brasil

E-mails: [contato@wisseneditora.com.br](mailto:contato@wisseneditora.com.br)

[wisseneditora@gmail.com](mailto:wisseneditora@gmail.com)

---

**Como citar ABNT:** VILA VERDE, D. dos S.; MIRANDA, L. A.; ARRUDA, F. P. de; OLIVEIRA, N. C. R. de. **Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo**. Teresina-PI: Wissen Editora, 2025. 108 p. DOI: <http://www.doi.org/10.52832/wed.147>

---

 **Wissen**  
editora  
**Teresina-PI, 2025**

## SOBRE AS ORGANIZADORAS

### Denise dos Santos Vila Verde



Graduada em Engenharia Florestal pela UFRB, com experiência como bolsista Fapesb em ciência do solo (2014 - 2015). Bolsista Fapesb/CNPq no Laboratório de Cultura de Tecidos da Embrapa Mandioca e Fruticultura, focando em micropropagação de citros, mandioca, inhame e mamão (2015 - 2018). Mestre em Ciências Agrárias pela UFRB, pesquisando conservação *in vitro* de germoplasma de inhame na Embrapa (2020), como bolsista Capes. Doutora em Produção Vegetal na UESC, como bolsista Capes, desenvolvendo minha tese com indução de haploides e poliploides em citros, além de contribuir com outros trabalhos da cultura e de mandioca, mamão e inhame. Além disso, atuo como professora conteudista/autora desde 2023 na Delinea EDTECH, desenvolvendo materiais didáticos para disciplinas como Hidrologia, Irrigação e Drenagem, Fruticultura, Extensão Rural, e também em oficinas voltadas para a indústria sucroalcooleira e regulamentos de operação de prensa. Também desempenho um papel ativo na organização de eventos, especialmente como membro da Comissão Científica da Bio10 Digital Cursos, contribuindo para a coordenação e qualidade dos conteúdos apresentados.

### Luanna Alves Miranda



Doutoranda e Mestre em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), com ampla experiência na análise de Fito-citogenotoxicidade, meu trabalho concentra-se na investigação da toxicidade de pesticidas nos ecossistemas. Graduada em Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), onde também atuei como bolsista do programa PIBID de iniciação à docência e como voluntária no Programa Institucional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PICT). Minha trajetória acadêmica e profissional reflete meu compromisso com a pesquisa e o desenvolvimento científico, buscando contribuir para o avanço do conhecimento em minha área de atuação.

### Francineuma Ponciano de Arruda



Possui graduação em Agronomia, mestrado em Manejo de Solo e Água (Manejo e conservação do solo) e doutorado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal da Paraíba. Atualmente é Professora Associado II do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Piauí e Representante Docente no Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão - CEPEX e no Conselho Universitário - CONSUN. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Manejo e Conservação do Solo, atuando principalmente nos seguintes temas: Manejo de culturas, fertilidade do solo e nutrição de plantas.

**Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira**   

Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFPI). Membro do Grupo de Estudos e Pesquisas Ambientais do Maranhão, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (GEPAM/IFMA). Especialista em Ensino de Ciências pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Especialista em Ensino de Genética pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Estagiária bolsista-CNPq na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte/Teresina, PI, adquirindo experiências na área de Ciência do Solo (coleta, manejo, propriedades químicas, biológicas e fauna edáfica). Bolsista CAPES/UFPI (2019/2021) adquirindo experiências em Meio Ambiente, Ensino, Educação Ambiental e Mudanças Climáticas. Docente na Educação Básica e Ensino Superior, nas instituições: Escola Municipal Nossa Senhora da Conceição (EMNSC), Ensino Fundamental-Ciências (2015); Professora substituta EBTT de Biologia no IFMA/ *Campus* Alcântara (2015-2017); Professora Substituta EBTT no IFPI/ *Campus* São João do Piauí (2021-2023). Editora-chefe das revistas científicas (*Journal of Education, Science and Health* –JESH, Revista Ensinar -RENSIN) e da *Wissen* Editora.

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	14
CAPÍTULO 1.....	16
<b>ESTUDO SOBRE A SUSCETIBILIDADE DOS SOLOS À DESERTIFICAÇÃO: ASPECTOS AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE CANINDÉ, CEARÁ, BRASIL....</b>	16
Vanessa Ohana Gomes Moreira    .....	16
Níveo Moreira Rocha    .....	16
Antônio Rodrigues dos Santos Neto    .....	16
Daniel Pontes de Oliveira    .....	16
DOI: 10.52832/wed.147.866  .....	16
CAPÍTULO 2.....	26
<b>ADUBAÇÃO POTÁSSICA COM BASE NA VARIABILIDADE ESPACIAL: ESTRATÉGIAS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL.....</b>	26
Sandro Luciano Barreto Fensterseifer    .....	26
Amanda Fornari    .....	26
DOI: 10.52832/wed.147.867  .....	26
CAPÍTULO 3.....	36
<b>MAPAS GEOESPACIAIS PARA OTIMIZAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO: ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO COM TAXA VARIÁVEL.....</b>	36
Sandro Luciano Barreto Fensterseifer    .....	36
Jonathas Dornelles de Chairó Soares    .....	36
Larissa Kauane da Rosa Machado    .....	36
Cristian Miller Horbach    .....	36
DOI: 10.52832/wed.147.868  .....	36
CAPÍTULO 4.....	45
<b>METODOLOGIA DE CRIAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E ADUBAÇÃO POR TAXA VARIÁVEL EM UMA DETERMINADA ÁREA DE FREDERICO WESTPHALEN- RS .....</b>	45
Sandro Luciano Barreto Fensterseifer    .....	45
Caroline Gabi da Silva    .....	45
Júlia Scalei Carvalho    .....	45
Luani Aparecida Calegari    .....	45

DOI: 10.52832/wed.147.869 	45
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	54
<b>AJUSTE DE OBSERVAÇÕES GEODÉSICAS E A ELABORAÇÃO DO MAPA DE FERTILIDADE DE PALMEIRA DAS MISSÕES, RIO GRANDE DO SUL</b> .....	54
Sandro Luciano Barreto Fensterseifer   	54
Esther Castanho da Maia Tabora   	54
Fernanda Cavalheiro dos Santos   	54
Luís Felipe Albarello   	54
DOI: 10.52832/wed.147.870 	54
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	64
<b>APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO EM CONSTANTINA-RS: UM ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO POR TAXA VARIÁVEL</b> .....	64
Sandro Luciano Barreto Fensterseifer   	64
Eduarda Meneghello Gheller   	64
DOI: 10.52832/wed.147.871 	64
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	75
<b>ANÁLISE DA FERTILIDADE DO SOLO EM DOIS IRMÃOS DAS MISSÕES-RS: ELABORAÇÃO DE MAPAS DE ADUBAÇÃO POR TAXA VARIÁVEL PARA CULTIVO DA SOJA</b> .....	75
Sandro Luciano Barreto Fensterseifer   	75
Gabriela Campos da Silva de Oliveira   	75
DOI: 10.52832/wed.147.872 	75
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	86
<b>APLICAÇÃO EM TAXA VARIÁVEL PARA MANEJO SUSTENTÁVEL NA CULTURA DA SOJA NO SUL DO BRASIL</b> .....	86
Caroline Szorek   	86
Alessandra Giovana Bonazza   	86
Cássia Aparecida Argenta Dalpicio   	86
Sandro Luciano Barreto Fensterseifer   	86
DOI: 10.52832/wed.147.873 	86

<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>98</b>
<b>O USO DE MATURADORES MELHORA A QUALIDADE INDUSTRIAL DO CALDO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>98</b>
Elifas Rodrigo Xavier da Silva   	98
Joel José de Andrade   	98
Crissogno Mesquista dos Santos   	98
Amanda Michele dos Santos Lima   	98
Pedro Victor Alves Albuquerque   	98
Ana Heloísa Rodrigues de Assis Melo   	98
Lilian Horanna Alves da Silva   	98
Emídio Cantídio Almeida de Oliveira   	98
DOI: 10.52832/wed.147.874 	98

## APRESENTAÇÃO

O e-book " Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo", em seu primeiro volume, é composto por nove capítulos que abordam diferentes estudos voltados à fertilidade do solo, uso de tecnologias geoespaciais e práticas agrícolas sustentáveis. Os trabalhos apresentados conectam fundamentos científicos a aplicações práticas no campo, com destaque para a agricultura de precisão, adubação em taxa variável e análise ambiental em diferentes contextos brasileiros.

No Capítulo 1, o estudo aborda a suscetibilidade dos solos à desertificação no município de Canindé, Ceará. A pesquisa analisa variáveis ambientais associadas à degradação de solos em regiões áridas e semiáridas, com destaque para os impactos sociais e ambientais decorrentes do avanço da desertificação. O estudo propõe uma análise integrada dos fatores ecológicos como subsídio para políticas de mitigação.

O Capítulo 2 investiga a adubação potássica baseada na variabilidade espacial no cultivo da soja. O trabalho destaca a importância do potássio como macronutriente essencial, essencial para processos fisiológicos como a fotossíntese e resistência a doenças. Utilizando dados de campo, a pesquisa propõe recomendações de adubação com taxa variável para otimizar a produtividade agrícola e promover o uso racional de insumos.

Já o Capítulo 3 discute a aplicação de mapas geoespaciais na otimização da fertilidade do solo, com estudo de caso em uma área de 907 hectares em Cruz Alta, RS. Por meio de ferramentas como ArcGIS e Google Earth Pro, a pesquisa apresenta estratégias de manejo com base na espacialização da fertilidade, visando maior precisão na aplicação de nutrientes.

No Capítulo 4, o foco recai sobre a metodologia de criação de mapas de fertilidade em Frederico Westphalen, RS. A pesquisa destaca a Agricultura de Precisão como ferramenta para a sustentabilidade agrícola, demonstrando como mapas digitais podem embasar decisões de adubação em áreas de grande extensão, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência.

O Capítulo 5 apresenta um estudo sobre o ajuste de observações geodésicas e elaboração de mapas temáticos de fertilidade em Palmeira das Missões, RS. O trabalho mostra como técnicas de interpolação e uso de dados georreferenciados auxiliam na gestão de áreas agrícolas e tornam o planejamento mais eficaz para o agricultor.

No Capítulo 6, a aplicação de tecnologias de manejo da fertilidade do solo é estudada no município de Constantina-RS. A pesquisa utilizou a plataforma ArcGIS para identificar variações na fertilidade e propor ajustes específicos na adubação, reforçando a importância da precisão no uso de fertilizantes.

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

O Capítulo 7 aborda a elaboração de mapas de adubação por taxa variável para o cultivo de soja em Dois Irmãos das Missões-RS. O trabalho mostra como o avanço da tecnologia permitiu maior previsibilidade na correção de nutrientes, promovendo decisões mais seguras e eficazes no campo.

O Capítulo 8 aprofunda a análise da aplicação em taxa variável para o manejo sustentável da soja, com estudo realizado no município de Seberi-RS, em uma área de mais de 2.300 hectares. A pesquisa utilizou dados fictícios, mas realistas, sobre fósforo, potássio e zinco para simular uma proposta prática de gestão ambientalmente responsável e economicamente viável.

Por fim, o Capítulo 9 investiga o uso de maturadores químicos e nutricionais na cana-de-açúcar, avaliando sua eficácia na qualidade do caldo da variedade RB92579. Conduzido na Usina Japungu Agroindustrial, na Paraíba, o estudo revela como a aplicação adequada de maturadores pode melhorar o rendimento industrial, com implicações diretas na cadeia produtiva do setor sucroenergético.

Nosso sincero agradecimento a todos os autores e coautores que contribuíram com seus estudos e experiências para a construção deste e-book. Cada capítulo reflete dedicação, rigor científico e compromisso com o avanço do conhecimento em manejo e conservação do solo.

Desejamos que esta obra represente uma contribuição significativa para estudantes, pesquisadores e profissionais envolvidos com o manejo, conservação e ciência do solo, oferecendo caminhos práticos e científicos para uma agricultura mais eficiente, tecnológica e ambientalmente responsável.

Por fim, agradecemos aos leitores, cuja curiosidade e interesse pela ciência do solo nos motivam a seguir promovendo e compartilhando saberes. Que este material possa inspirar novas práticas, pesquisas e conexões em prol do fortalecimento de uma agricultura inovadora e consciente.

*Denise dos Santos Vila Verde*

# CAPÍTULO 1

## ESTUDO SOBRE A SUSCETIBILIDADE DOS SOLOS À DESERTIFICAÇÃO: ASPECTOS AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE CANINDÉ, CEARÁ, BRASIL

STUDY ON SOIL SUSCEPTIBILITY TO DESERTIFICATION: ENVIRONMENTAL  
ASPECTS OF THE MUNICIPALITY OF CANINDÉ, CEARÁ, BRAZIL

**Vanessa Ohana Gomes Moreira**   

Doutora em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará (UFC). Pesquisadora na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), Ceará, Brasil

**Gabrielle Langhorn**   

Estudante de Doutorado em Conservação Integrativa na Universidade de Geórgia, EUA. Pesquisadora Visitante na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), Ceará, Brasil

**Níveo Moreira Rocha**   

Mestrado em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Pesquisador na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), Ceará, Brasil

**Antônio Rodrigues dos Santos Neto**   

Graduado em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE), Pesquisador na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), Ceará, Brasil

**Daniel Pontes de Oliveira**   

Doutor em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará, BTT na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), Ceará, Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.866 

**Resumo:** A desertificação é um processo de degradação ambiental intrínseco de regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, com sérios impactos sociais e ambientais. O nordeste brasileiro, incluindo o estado do Ceará, enfrenta desafios graves relacionados à degradação e desertificação de terras. Este estudo visa analisar as variáveis ambientais do município de Canindé, CE, com foco no processo de desertificação. O estudo foi conduzido em duas fases: Na primeira, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os aspectos ambientais de Canindé, como localização geográfica, declividade, tipos de solos e áreas degradadas. Na segunda fase, foram utilizados dados secundários para gerar mapas e realizar uma análise ambiental. A base de dados da Funceme foi utilizada para análise pedológica, enquanto o modelo digital de elevação foi empregado para gerar mapas de declividade. A área analisada incluiu as zonas susceptíveis à desertificação, considerando a fragilidade dos solos e a vegetação. Os resultados revelaram que o município de Canindé está inserido em uma região com alta vulnerabilidade à desertificação. Os solos são predominantemente rasos e pouco profundos, com pouca capacidade de retenção de água, o que aumenta a susceptibilidade à degradação. A degradação da vegetação, associada às condições climáticas adversas, contribui para o aumento das áreas de afloramentos rochosos e a perda da fertilidade do solo. O estudo confirmou que Canindé enfrenta um risco elevado de desertificação, com sérios impactos para a biodiversidade e a disponibilidade hídrica local. A degradação das terras exige ações imediatas de mitigação e conservação, incluindo o manejo sustentável dos solos e a recuperação da cobertura vegetal. A utilização de dados técnicos e a elaboração de mapas mostraram-se como ferramentas essenciais para monitorar e planejar ações eficazes no combate à desertificação.

**Palavras-chave:** Degradação. Região Semiárida. Análise ambiental. Geoprocessamento.

**Abstract:** Desertification is an environmental degradation process intrinsic of the arid, semi-arid, and dry sub-humid regions, with serious social and environmental impacts. The Northeast region of Brazil, including the state of Ceará, faces severe challenges related to land degradation and desertification. This study aims to analyze the environmental variables of the municipality of Canindé, CE, with a focus on the desertification process. The study was conducted in two phases. The first phase involved a literature review on the environmental aspects of Canindé, such as geographic location, slope, soil types, and degraded areas. In the second phase, secondary data were used to generate maps and conduct an environmental analysis. The FUNCEME database was used for pedological analysis, while the digital elevation model was employed to generate slope maps. The analyzed area included zones susceptible to desertification, considering the fragility of the soils and the caatinga vegetation. The results revealed that the municipality of Canindé is located in a region with high vulnerability to desertification. The soils are predominantly shallow and poorly developed, with low water retention capacity, which increases susceptibility to degradation. The degradation of vegetation, combined with adverse climatic conditions, contributes to the increase of rocky outcrop areas and the loss of soil fertility. The study confirmed that Canindé faces a high risk of desertification, with serious impacts on local biodiversity and water availability. Land degradation requires immediate mitigation and conservation actions, including sustainable soil management and vegetation recovery. The use of technical data and the creation of maps proved to be essential tools for monitoring and planning effective actions to combat desertification.

**Keywords:** Degradation. Semi-arid region. Environmental analysis. Geoprocessing.

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de desertificação em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas é reconhecido como uma ameaça ambiental e social significativa, destacando-se como um dos principais desafios globais na contemporaneidade. A região Nordeste do Brasil, apresenta os maiores problemas ambientais de degradação e desertificação de terras, com um total de 1.143,491 km<sup>2</sup> de Áreas Suscetíveis de Desertificação (ASD) (CGEE, 2016). As elevadas temperaturas, as precipitações irregulares, a fragilidade dos solos e o manejo inadequado, que podem acarretar na supressão da vegetação, constituem um conjunto de fatores que contribuem para a propagação desse processo, como destacado por Guimarães *et al.* (2016).

O estado do Ceará possui a segunda maior extensão de terras degradadas em processo de desertificação entre as unidades federativas brasileiras que apresentam ASD, conforme indicado também por Albuquerque *et al.* (2020). A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) realizou uma delimitação de três núcleos de desertificação com níveis de ocorrência mais graves: I – Irauçuba/Centro-Norte; II – Inhamuns; e III – Médio Jaguaribe.

Sendo assim, estimou-se que a área que compreende os núcleos de desertificação representa 23% do território estadual e que 11,45% são consideradas fortemente degradadas e em processo de desertificação. Dentre os núcleos de desertificação do Ceará, o município de Irauçuba representa um dos núcleos de desertificação do Brasil (PAN – Brasil, 2004).

O município de Canindé-CE está situado no Núcleo I – Irauçuba/Centro-Norte fazendo divisa com outros 15 municípios, na macrorregião do Sertão Central. Ao longo de mais de três séculos, o uso e ocupação dos solos dessa região foram comprometidos pela extração da madeira para diversos fins. A agropecuária foi um dos maiores contribuintes para degradação do ambiente (Facundo; Frota, 2020). A soma dessas atividades aos aspectos de natureza ambiental como a geologia, relevo, condições pedológicas e fitogeográficas podem ter sido responsáveis pelos processos de desequilíbrio ambiental iniciados pelo homem ao longo dos anos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar variáveis ambientais do município de Canindé-CE por meio de técnicas de sensoriamento remoto, visando a análise da paisagem e a verificação da suscetibilidade do município ao processo de desertificação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da pesquisa

O estudo caracteriza-se pela avaliação de variáveis ambientais, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, além da realização de pesquisa bibliográfica e avaliação de dados disponibilizados pela Funceme e Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE – CE, 2010).

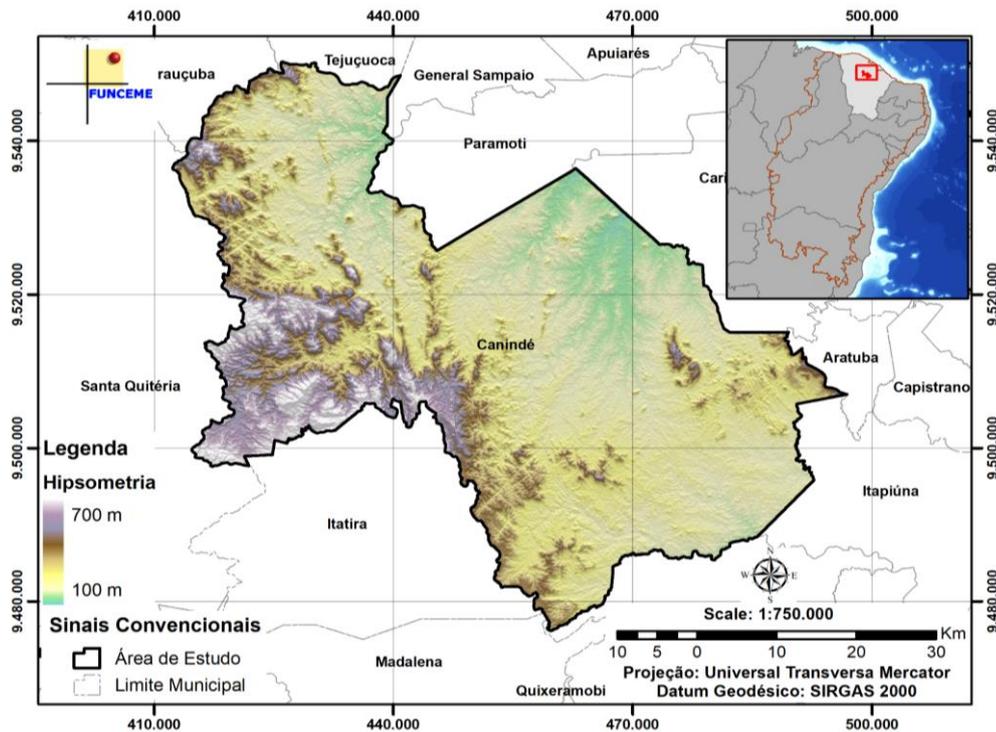
Na elaboração do estudo, levou-se em consideração a descrição dos seguintes aspectos ambientais dos municípios em análise: localização geográfica, declividade, classificação dos solos e predomínio de áreas degradadas. Com isso, dividiu-se a metodologia em duas fases: na primeira, realizou-se revisão de literatura de conteúdos relevantes para a descrição de cada aspecto ambiental. Posteriormente, na segunda fase, foi realizada a compilação e utilização de dados para elaboração de mapas de caracterização do município quanto às variáveis analisadas.

Para a análise pedológica foi usado a base de dados da Funceme, a qual, para o novo Levantamento de Média Intensidade, gerou um mapeamento na escala de detalhe de 1:100.000. Para avaliação do relevo e geração de dados morfométricos, foi utilizado o modelo digital de elevação FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) (Hawker et al., 2022), que foi empregado como base para o mapeamento de declividade, com os valores em porcentagem.

## 2.2 Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao município de Canindé, localizado no Centro-Norte do estado do Ceará, distante 173 km de Fortaleza-CE (Figura 1).

**Figura 1** – Localização do Município de Canindé - CE.



Fonte: Autores, 2025.

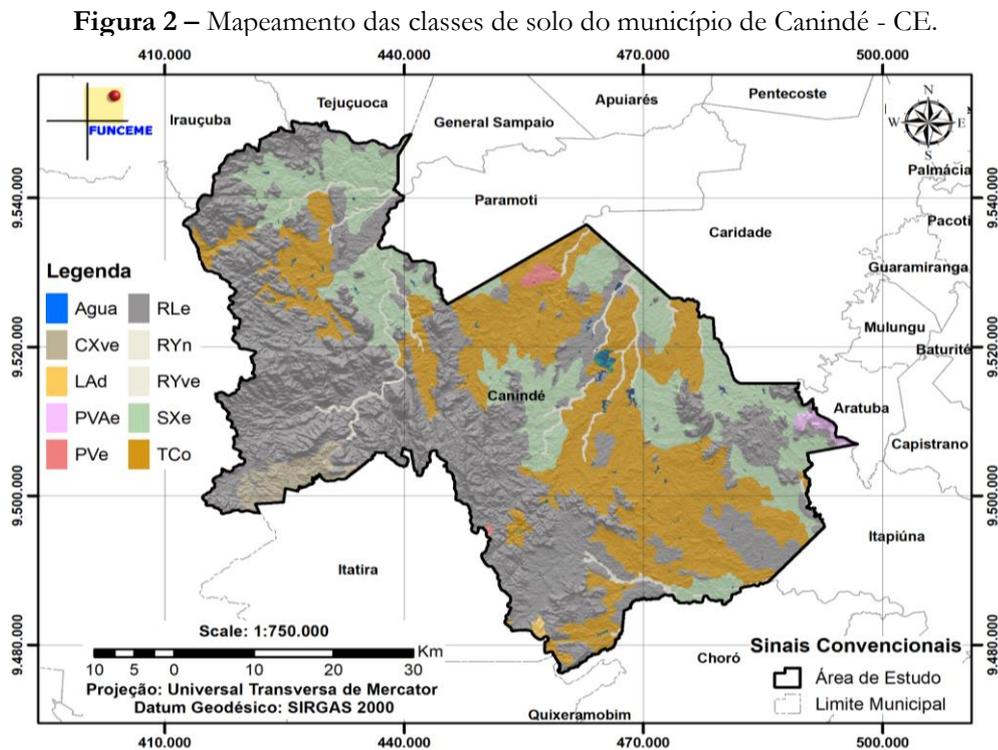
O município está inserido em uma região de clima tropical quente semiárido, com temperatura média variando entre 26 °C e 28 °C. Sua paisagem é caracterizada pelo predomínio

da vegetação do tipo Caatinga e por um relevo composto por maciços residuais e depressão sertaneja (Nascimento *et al.*, 2019). A região foi escolhida por estar inserida em área fortemente afetada por fenômenos de degradação do solo, bem como desmatamento e a variabilidade climática. Além disso, o município está entre os mais populosos entre as ASD, assim como Miraíma, o que os torna potencialmente vulneráveis à degradação ambiental (PAE – CE, 2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Tipos de solos

Na Figura 2, pode-se observar a distribuição das classes de solos na região, destacando a presença de Neossolos, uma classe altamente suscetível à degradação. Também há presença de solos das classes dos Luvisolos, Planossolo, Cambissolo, Latossolo e Argissolos.



CXve - Cambissolo Háplico Ta Eutrófico. LAd - Latossolo Amarelo distrófico. PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico. PVe - Argissolo Vermelho Eutrófico. RLe - Neossolo Litólico Eutrófico. RYn - Neossolo Flúvico Sódico. RYve - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico. SXe - Planossolo Háplico Eutrófico. TCo - Luvisolo Crômico órtico.

**Fonte:** Autores, 2025.

Portanto, percebe-se que os solos da região apresentam uma diversidade de classes, cada uma com características e potencialidades distintas para a agricultura. Os Luvisolos possuem média a alta fertilidade natural, boa drenagem e podem ser produtivos dependendo da disponibilidade hídrica e do relevo. Os Neossolos, por outro lado, são pouco desenvolvidos, rasos e frequentemente pedregosos, com excesso de sódio em algumas áreas, o que pode

## **Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

contribuir para processos de degradação. Os Planossolos são imperfeitamente drenados, com horizonte adensado e baixa permeabilidade, podendo formar lençóis d'água suspensos (Santos *et al.*, 2018).

Já os Argissolos apresentam um horizonte B textural bem definido, com aumento no teor de argila, enquanto os Latossolos possuem baixa saturação por bases e exigem correções químicas para garantir sua fertilidade. Os Cambissolos, por sua vez, caracterizam-se com horizonte B incipiente e boa fertilidade natural (Santos *et al.*, 2018). O potencial agrícola dessas classes de solo depende de fatores limitantes específicos que devem ser gerenciados adequadamente. Dessa forma, a compatibilização entre as características do solo e as exigências das culturas cultivadas é essencial para a sustentabilidade agrícola na região.

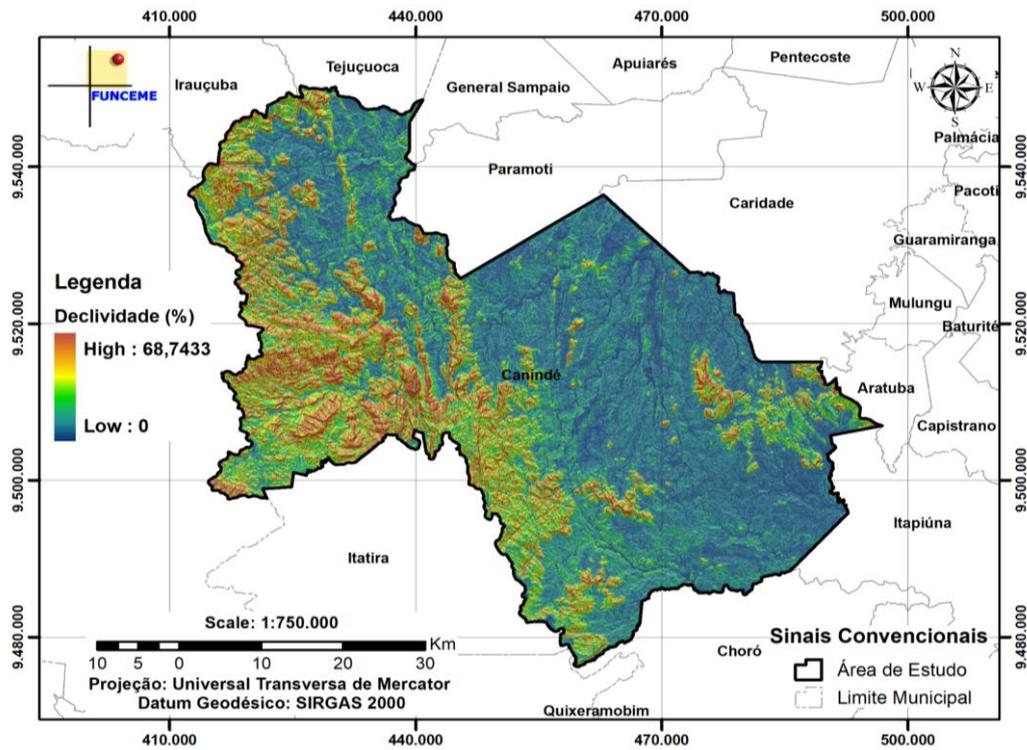
### **3.2 Declividade**

As áreas com declividade mais acentuada são mais vulneráveis aos processos de erosão devido à diferença altimétrica, que aumenta a energia potencial do terreno. Quanto mais íngreme for a superfície, maior será a energia cinética dos sedimentos transportados, conforme a lei da conservação de energia (Crepani *et al.*, 2001; Pons *et al.*, 2007).

No contexto da área de estudo, observa-se que 0,05% do território apresenta relevo montanhoso, 11% possui terrenos fortemente ondulados e 23% são classificados como ondulados. Em contrapartida, a região apresenta uma maior predominância de terrenos planos, que correspondem a cerca de 33%, seguidos por áreas com relevo suavemente ondulado, que ocupam 31% da superfície (Figura 3).

A predominância de terrenos planos e suavemente ondulados favorece o uso agrícola, especialmente em solos como os Luvisolos, Argissolos e Latossolos, que possuem maior potencial produtivo quando gerenciados adequadamente. No entanto, a presença de terrenos ondulados e fortemente ondulados pode representar restrições para a mecanização, promovendo o aumento da vulnerabilidade à erosão e degradação, especialmente, em solos com menor estabilidade estrutural (Lepsch, 2010).

Figura 3 – Mapeamento da declividade do município de Canindé - CE.



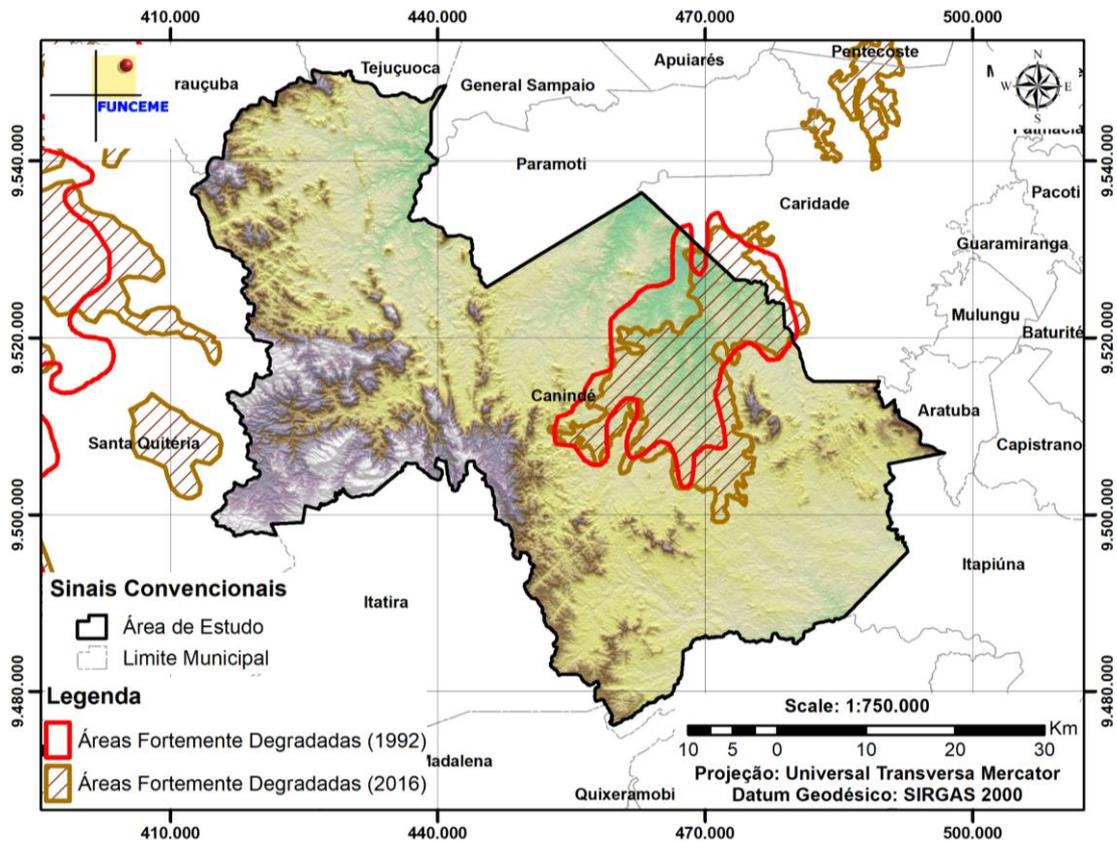
Fonte: Autores, 2025.

### 3.1 Áreas Degradadas

No primeiro levantamento (1:100.000) realizado pela Funceme utilizando o Índice de Aridez (IA) e considerando a ocorrência simultânea da degradação dos fatores físicos e biológicos, estimou-se que 10,2% do estado do Ceará era susceptível aos processos de desertificação. Em 2016, na nova delimitação estimou-se que a área que compreende os núcleos de desertificação representa 23% do território estadual e que 11,45% são consideradas fortemente degradadas e em processo de desertificação (Funceme, 2016).

A Figura 4 apresenta o mapeamento das áreas degradadas suscetíveis à desertificação no município de Canindé, comparando os resultados obtidos no primeiro levantamento, realizado em 1992, com os do segundo, realizado em 2016. Observa-se um aumento na extensão das áreas degradadas no levantamento mais recente, o que pode estar parcialmente relacionado à maior precisão da metodologia utilizada. No entanto, seria um equívoco atribuir essa diferença exclusivamente à metodologia, sem considerar o efetivo avanço da degradação ao longo dos anos.

Figura 4 – Áreas fortemente degradadas no município de Canindé-CE.



Fonte: Autores, 2025.

Em áreas de relevo mais acidentado, onde predominam terrenos ondulados e fortemente ondulados, a erosão pode ser intensificada, principalmente em solos suscetíveis, como os Argissolos e Planossolos. Da mesma forma, a baixa drenagem e a pedregosidade dos Neossolos dificultam a recuperação da vegetação, tornando essas áreas mais propensas à degradação.

Observou-se que as áreas fortemente degradadas no município de Canindé estão localizadas próximas aos açudes e reservatórios hídricos, o que pode estar relacionado à intensificação da atividade agropecuária nessas regiões. A proximidade com fontes de água favorece a ocupação e o uso intensivo do solo, muitas vezes sem práticas adequadas de manejo, resultando em degradação progressiva.

#### 4 CONCLUSÃO

O resultado da análise das características do relevo, das classes de solo e do avanço da degradação no município de Canindé evidencia a complexa relação entre esses fatores e a intensificação dos processos de desertificação. A predominância de terrenos planos e suavemente ondulados favorece a atividade agropecuária, mas o manejo inadequado, especialmente em áreas próximas a açudes e reservatórios hídricos, tem contribuído para a degradação progressiva do

solo. Além disso, a predominância de solos mais suscetíveis à erosão, como os Neossolos, associada ao uso intensivo da terra e, por sua vez, também a alta sodicidade, pode ter contribuído para o surgimento de áreas fortemente degradadas, o que reforça a importância da adoção de práticas de manejo sustentável para minimizar os impactos negativos da degradação.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, D.S.; SOUZA, S. G.D.; SOUZA, A. C.N.; SOUSA, M. L. M.; Cenário da desertificação no território brasileiro e ações de combate à problemática no estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Sociedade e ambiente no Semiárido: controvérsias e abordagens**. v. 55, p. 673-696, 2020.

BRASIL. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca/PAN - Brasil**. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 2004, 214p.

CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE)**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente, 2010. 372 p.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, DF: 2016. 252p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE. 2001. 124p.

FACUNDO, A. L.; FROTA, A. F. M.; O processo de desertificação no Núcleo de Irauçuba, Ceará: fatores ambientais, uso e ocupação do solo. **Caderno Intersaberes**, v. 9, n. 20 – 2020.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Mapeamento de áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Ceará**, 2016.

GUIMARÃES, S. O.; COSTA, A. A.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; SILVA, E.M.; SALES, D. C.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; SOUZA, S. G.; Projeções de mudanças climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, 337-365p, 2016.

HAWKER, L; UHE, P, PAULO, L., SOSA, J., SAVAGE J., SAMPSON C.; NEAL J. **A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed**. Environmental. Research. Letter. n. 17. 2022.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Texto. 216p.

PONS, N. A. D.; PEJON, O. J.; Z., L. V. Uso do geoprocessamento no estudo da degradação do solo em ambientes urbanos: o caso da cidade de São Carlos, São Paulo, Brasil. **Geologia Ambiental**, v. 53, n. 4, pág. 727-739, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0685-y>

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C; OLIVEIRA, V. A.; LIMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMDEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F.; **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 357p

# CAPÍTULO 2

## ADUBAÇÃO POTÁSSICA COM BASE NA VARIABILIDADE ESPACIAL: ESTRATÉGIAS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

POTASSIUM FERTILIZATION BASED ON SPATIAL VARIABILITY: STRATEGIES  
FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE

**Sandro Luciano Barreto Fensterseifer**   

Doutor em engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil

**Amanda Fornari**   

Estudante de graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do sul,  
Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.867 

**Resumo:** Atualmente, a busca por inovação é essencial em todos os setores produtivos, destacando-se a necessidade de sistemas de informação atualizados e acessíveis para aumentar a produtividade de forma sustentável. Na agricultura, o manejo adequado de nutrientes como o potássio, um dos macronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, é crucial. O potássio desempenha papel fundamental na fotossíntese, na resistência a doenças e no controle da água nas células vegetais, impactando diretamente a produtividade. Este estudo foi conduzido em uma área de 395,56 hectares, localizada no município de Ronda Alta – RS, com o objetivo de avaliar a disponibilidade de potássio no solo e gerar recomendações detalhadas para a aplicação em taxa variável, contribuindo para uma gestão agrícola mais eficiente e sustentável no cultivo de soja. As rotinas dentro do aplicativo abrangeu etapas como delimitação da área, definição de pontos amostrais, análise de dados de fertilidade, cálculo de adubação necessária, interpolação, tratamento e manipulação do banco de dados e geração de planos de informação e mapas. Como resultado obteve-se planos de informação e mapas que podem ser descarregados nos equipamentos agrícolas para trabalharmos com o conceito de agricultura de precisão. Concluiu-se que o uso de tecnologias de taxa variável, são fundamentais para otimizar a aplicação de insumos agrícolas, reduzir desperdícios e minimizar impactos ambientais.

**Palavras-chave:** Potássio. Fertilidade. Adubação por taxa variável.

**Abstract:** Currently, the search for innovation is essential in all productive sectors, highlighting the need for updated and accessible information systems to increase productivity in a sustainable way. In agriculture, the adequate management of nutrients such as potassium, one of the essential macronutrients for plant development, is crucial. Potassium plays a fundamental role in photosynthesis, disease resistance and water control in plant cells, directly impacting productivity. This study was conducted in an area of 395.56 hectares, located in the municipality of Ronda Alta – RS, with the objective of evaluating the availability of potassium in the soil and generating detailed recommendations for application at a variable rate, contributing to more efficient and sustainable agricultural management in soybean cultivation. The routines within the application covered steps such as area delimitation, definition of sample points, analysis of fertility data, calculation of necessary fertilization, interpolation, treatment and manipulation of the database and generation of information plans and maps. As a result, information plans and maps were obtained that can be downloaded onto agricultural equipment to work with the concept of precision agriculture. It was concluded that the use of variable rate technologies is fundamental to optimizing the application of agricultural inputs, reducing waste and minimizing environmental impacts.

**Keywords:** Potassium. Fertility. Variable rate fertilization.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca incessante por inovação tornou-se um fator essencial em todos os setores produtivos, especialmente na agricultura, onde o uso de tecnologias de ponta e a adoção de práticas sustentáveis são determinantes para a produtividade e preservação ambiental. A agricultura de precisão caracteriza-se pela elevada quantidade de informações disponibilizadas, podendo contribuir para estabelecimento de relações espaciais de atributos de solo com a produtividade das culturas (Amado; Giotto, 2009).

Nesse contexto, sistemas de informação atualizados e acessíveis desempenham um papel crucial na otimização do manejo agrícola, possibilitando a gestão eficiente dos recursos e a

## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

redução dos impactos ambientais. O uso de ferramentas de geoprocessamento, tem se destacado como uma metodologia eficaz na determinação dos níveis de nutrientes no solo, como o potássio, fundamental para o crescimento das culturas. Na agricultura, o manejo adequado dos insumos agrícolas, especialmente os nutrientes, é vital para garantir a sustentabilidade da produção. Esse manejo envolve a análise precisa da variabilidade espacial dos solos, o que pode ser alcançado por meio da integração de tecnologias como os sistemas de informações geográficas (SIG), componentes topográficos e atributos de solo.

No planejamento conservacionista o conhecimento da topografia é essencial. Fatores como declividade e posição topográfica influenciam na produtividade das culturas de maneira indireta, por influenciarem os atributos físicos e químicos do solo (Souza *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2007).

Este estudo foi realizado em uma área de 395,56 hectares na cidade de Ronda Alta – RS, com o objetivo de gerar dados detalhados sobre a disponibilidade de potássio no solo e fornece recomendações específicas para o cultivo de soja. A análise de dados permite identificar com maior precisão as necessidades de nutrientes em cada parte da propriedade, resultando em um planejamento agrícola mais eficiente e sustentável.

A agricultura de precisão através da metodologia de adubação por taxa variável, estão diretamente relacionadas a parâmetros físico químicos dos solos seu uso e ocupação e topografia, (Oldeman, 1994; Quine; Zhang, 2002). Shumacher *et al.* (2005) relacionaram espacialmente a erosão com os componentes topográficos, identificando áreas com elevada taxa de erosão na lavoura e que tem seu potencial produtivo comprometido.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa é caracterizada como um estudo aplicado com foco na agricultura de precisão, especificamente no manejo da fertilidade do solo. O trabalho utilizou ferramentas avançadas de geoprocessamento, para mapear a variabilidade espacial do potássio em uma área de 395,56 hectares localizada no município de Ronda Alta, RS.

A metodologia integrou análise de dados de solo, técnicas de interpolação e o cálculo de necessidade de adubação para otimizar a aplicação de insumos agrícolas. Destaca-se pela abordagem quali-quantitativa, ao coletar e analisar dados laboratoriais de fertilidade, e pela aplicação prática, fornecendo mapas detalhados que auxiliam no planejamento agrícola.

O objetivo principal foi desenvolver recomendações de adubação em taxa variada, promovendo eficiência econômica e sustentabilidade ambiental. A pesquisa contribui para o

## **Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

avanço da agricultura moderna ao demonstrar como tecnologias digitais podem ser aplicadas para reduzir custos, minimizar desperdícios e potencializar a produtividade agrícola.

### **2.2 Área de Estudo e Público-alvo**

O estudo foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen, inserindo-se na área das geotecnologias, tendo como público-alvo a comunidade tendo como subáreas ajustamento das observações geodésicas e agricultura de precisão, acadêmica e científica e os produtores rurais com a disponibilidade da metodologia a ser aplicada a campo.

### **2.3 Metodologia da pesquisa**

Para realização deste projeto, se fez uso do sistema de informação geográfica ArcGIS, utilizou-se as ferramentas disponíveis para se gerar os planos de informação a partir de dados de nutrientes coletados a campo, no presente estudo o potássio, esses dados serviram de base para o processo.

Também foi utilizado Google Earth, de onde foram extraídos os limites na forma de polígono da área definida, localizada no município de Ronda Alta, Estado do Rio Grande do Sul.

#### **2.3.1 Localização da área de estudo**

A pesquisa foi conduzida no município de Ronda Alta, no estado do Rio Grande do Sul, localizado nas coordenadas geográficas 27°47'16,43" de latitude, 52°44'54,45" de longitude e a uma altitude de 689 metros. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, e o clima, segundo a classificação de Köppen, corresponde ao tipo subtropical úmido. O estudo utilizou ferramentas de análises de dados para verificar a disponibilidade de potássio no solo de uma área de 395,56 hectares.

#### **2.3.2 Delimitação da área do projeto**

Etapa na qual após identificado o local de pesquisa delimita-se o mesmo, para tal utilizou-se a ferramenta delimitação no Google Earth, e exportou-se o mesmo como arquivo shape para o sistema de informação geográfico.

#### **2.3.3 Definição de pontos amostrais dentro da área**

Os pontos amostrais foram gerados de forma aleatória dentro dos limites definidos da área. Após a geração inicial, foi necessário ajustar a distribuição para excluir pontos localizados

## **Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

em áreas não cultiváveis, como estradas e corpos d'água, e adicionar pontos em regiões que necessitavam de maior cobertura amostral. Essa etapa garantiu a representatividade das amostras no mapeamento da fertilidade do solo.

Os dados de fertilidade foram obtidos por meio de amostras de solo coletadas a campo no dia 19/06/2024, os valores do nutriente potássio (K) foram registrados em unidades de  $\text{mg}/\text{dm}^3$  e posteriormente convertidos para  $\text{kg}/\text{ha}$  dentro do software ArcGIS, utilizando funções de edição de tabelas atribuídas às camadas de pontos.

### **2.3.4 Elaboração do banco de dados indexados**

A necessidade de adubação foi calculada com base na diferença entre os valores de fertilidade medidos e os valores de referência recomendados para a cultura da soja. Os resultados foram organizados em colunas e indexadas ao banco de dados criado no ArcGIS, aplicando-se cálculos automatizados para cada ponto.

Em regiões onde o teor de potássio já estava acima do valor de referência, a necessidade de adubação foi ajustada para zero, evitando a superdosagem de fertilizantes.

### **2.3.5 Interpolação dos dados para pontos**

Os dados de fertilidade e necessidade de adubação foram interpolados para criar superfícies contínuas e preenchimento de dados em vazios espaciais, permitindo a visualização detalhada da variabilidade espacial em toda a área de estudo. Para isso, foram utilizadas ferramentas do ArcGIS, na rotina de análise de dados espaciais, executou-se o algoritmo de interpolação IDW (Interpolador de pesos do inverso das distancias) que gerou planos de informação interpolados em coordenadas projetadas no sistema UTM. As simbologias e gradientes de cores dos mapas foram ajustados para facilitar a interpretação e a comunicação dos resultados.

### **2.3.6 Conversão para pontos**

O plano de informação interpolados foi convertida para pontos, possibilitando a análise quantitativa da adubação total necessária na área. Este processo foi fundamental para consolidar as informações e subsidiar decisões sobre a aplicação de fertilizantes. O total de potássio necessário foi calculado a partir das estatísticas da camada resultante, proporcionando um panorama claro para o planejamento agrícola.

### 2.3.7 Dados totais de adubação

Os dados consolidados indicaram a necessidade total de potássio para a área de estudo, sendo utilizados para embasar o planejamento agrícola e a aplicação de insumos. Estes dados permitem calcular o custo total da adubação, auxiliando os produtores na tomada de decisão e no gerenciamento econômico. Além disso, o impacto ambiental foi considerado ao ajustar a dosagem para evitar excessos, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis. Utilizou-se para recomendação de adubação para o elemento potássio, o prescrito no manual de adubação e calagem para estados de santa catarina e rio grande do sul, sendo de 350 Kg/ha.

### 2.3.8 Converter plano de informação em mapas

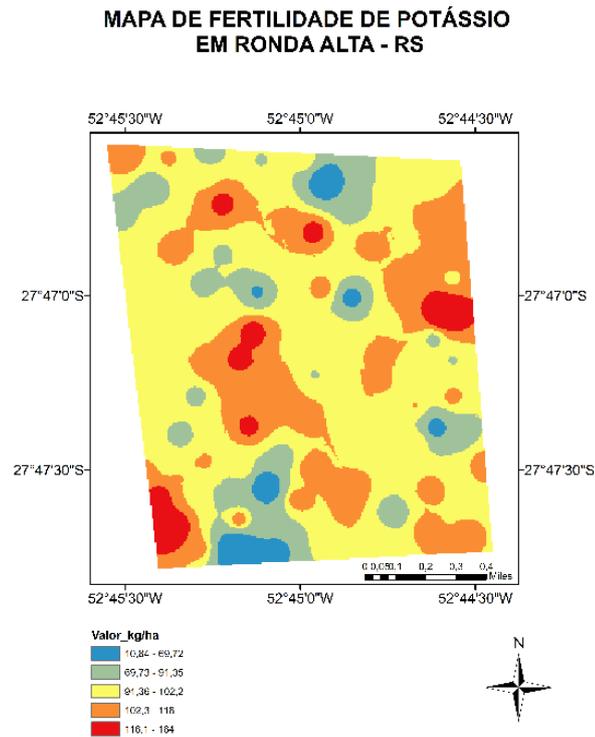
Os mapas finais foram elaborados para representar graficamente a fertilidade do solo e as recomendações de adubação. Elementos como legendas, escalas, sistemas de coordenadas e orientação foram adicionados para assegurar um padrão visual organizado e informativo. Esses mapas são ferramentas essenciais para a tomada de decisão no manejo agrícola, fornecendo informações de fácil compreensão e alto valor técnico.

Os elementos inseridos devem ser ajustados de forma organizada, garantindo que o mapa siga um padrão visual claro, mantendo-se informativo e evitando confundir os leitores.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

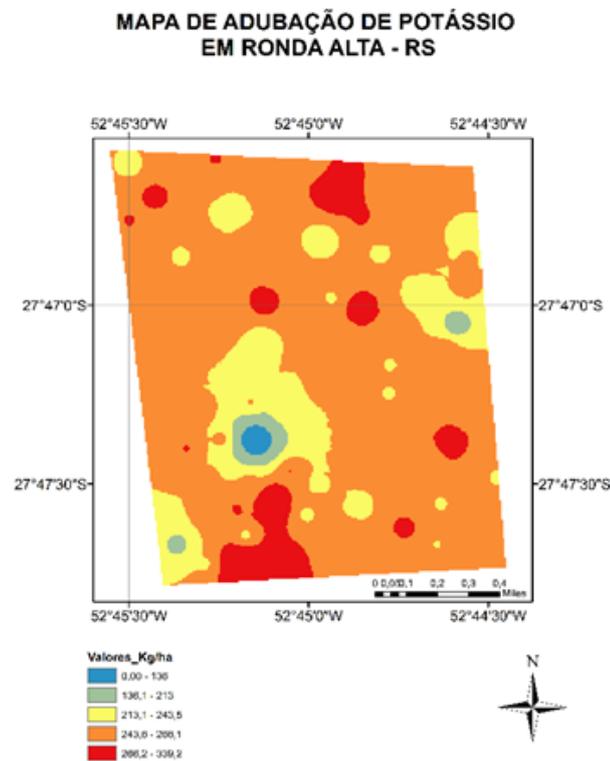
Os resultados do presente estudo apresentam-se de forma clara e objetiva por meio de mapas detalhados, os quais retratam tanto a adubação quanto a fertilidade de potássio na área analisada. Esses mapas foram gerados e processados com base nos dados coletados durante as etapas de levantamento e análise de campo, assegurando a precisão e confiabilidade das informações obtidas. O processamento dos dados seguiu critérios técnicos rigorosos, permitindo a visualização espacial das características do solo relacionadas ao potássio, facilitando a interpretação dos resultados por diferentes públicos, desde técnicos especializados até produtores rurais.

Figura 1 – Mapa de fertilidade de potássio.



Fonte: FORNARI, A. (2024).

Figura 2 – Mapa de Adubação por taxa variada de potássio



Fonte: FORNARI, A. (2024).

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

As ferramentas de agricultura de precisão através dos plantios por taxa variável, se inserem nesse contexto, monitorando as culturas, ciclo de produção, visando aumentar a produtividade e também manter a quantidade de insumos, ou reduzi-las (Blackmore,1994).

Em um processo de adubação convencional a demanda para a área de estudo de 395,56 ha seria de 138.446 kg na forma pura, o potássio comercializado principalmente como cloreto de potássio (KCl) com 58 % de  $K_2O$ , o que implica no uso de 238.700 kg de KCl na formulação. Na região de Ronda Alta, o custo do KCl é de R\$ 114,00 por saco de 50 kg. Para atender à demanda total, são necessários 4.774 sacos, resultando em um custo total de R\$ 544.236,00.

Em um processo de adubação por taxa variável, o qual trata-se o presente trabalho, cloreto de potássio (KCl) com 58% de  $K_2O$ , deve-se aplicar a partir do processo de interpolação 89.495,57 kg, resultando na aplicação de 149.204,43 kg, para isso serão necessários 2.985 sacos, o que resultaria no valor de R\$ 340.290,00, o que acarreta em uma economia para a área total de R\$ 203.946,00. A agricultura de precisão busca solucionar problemas nas áreas de plantio, através de mapas de produtividade, fertilidade. Aplicação de fertilizantes a taxa variável é necessário, atuando-se diretamente sobre as variações espaciais, para isto, são montados dispositivos em máquinas de aplicação que comandam as decisões de variação da aplicação, processando os dados dos sensores (TDP, velocidade, posição no campo) e os dados inseridos pelo usuário aplicando-se, portanto, a dose necessária (Dallmeyer; Schlosser, 1999).

Uso das ferramentas da agricultura de precisão permitem identificar as necessidades específicas de nutrientes em cada área da propriedade, otimizando o planejamento, reduzindo o uso excessivo de insumos e minimizando impactos ambientais (Amado; Santi, 2007).

Assim, o uso de tecnologia e dados precisos traduz-se em economia direta e sustentabilidade no manejo agrícola.

**Tabela 1** – Análise comparativa método convencional relacionada a taxa variável.

<i>Dados</i>	<i>Adubação Convencional</i>	<i>Adubação por taxa variável</i>
<i>Necessidade inicial</i>	138.446 kg	89.495,57 kg
<i>Quantidade aplicada</i>	238.700 kg	149.204,43 kg
<i>Valor investido</i>	R\$ 544.236,00	R\$ 340.290,00
<i>Economia gerada</i>	R\$ 0	R\$ 203.946,00.

**Fonte:** Autores, 2024.

## 5 CONCLUSÃO

A aplicação de tecnologias avançadas, como sistemas de informações geográficas (SIG) e geoprocessamento, agricultura de precisão, é fundamental para a agricultura moderna, promovendo sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis. Este estudo demonstrou que a análise da variabilidade espacial do solo, com foco na disponibilidade de potássio, fornece dados precisos para um manejo agrícola mais assertivo. A agricultura de precisão caracteriza-se pela elevada quantidade de informações disponibilizadas, podendo contribuir para o estabelecimento de relações espaciais de atributos de solo com a produtividade das culturas.

A aplicação de insumos em taxa variada oferece uma vantagem significativa ao produtor, pois permite o uso mais eficiente dos fertilizantes, ajustando as doses conforme a real necessidade de cada área. Esse método evita a aplicação uniforme e desnecessária em regiões que já possuem teores adequados de potássio, reduzindo os custos totais e o desperdício de recursos.

Se o produtor optasse pelo método convencional de adubação, utilizando uma taxa fixa para toda a área, o consumo de KCl seria consideravelmente maior, uma vez que não levaria em conta a variabilidade espacial da fertilidade do solo.

O uso de fertilizantes é essencial para a sustentabilidade ambiental e maximiza a produtividade consequentemente reduzindo custos operacionais, isto exige o uso de tecnologia equilibrando produtividade econômica com preservação de recursos naturais, isto nas últimas décadas conseguindo-se em algumas áreas dobrar a produtividade de culturas sem, aumentar o tamanho das áreas.

## REFERÊNCIAS

- 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, 2007. p.99-144.
- AMADO, T. J. C., GIOTTO, E. A sua lavoura na tela. **Revista A Granja**, São Paulo, SP, p.38-42, 2009.
- BASSOI, L. H. *et al.* Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, 2019.
- BLACKMORE, S. **Precision farming: An overview**. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, p.86-88, 1994.
- COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. 2005.

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

DALLMEYER, A. U.; SCHLOSSER, J. F. Mecanización para la agricultura de precisión. *In:* BLU, R. O.; MOLINA, L. F. (org.). **Agricultura de precisión - introducción al manejo sitio-específico**, 1999. Chillán: INIA e Cargill Chile, 1999, cap.3, 128p.

OLDEMAN, L.R. The global extent of soil degradation. *In:* Greenland, D.J., Szabolcs, I. (Eds.). **Soil Resilience and Sustainable Land Use**. CAB International, Wallingford, 1994. p.99–118.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JR. J.; PEREIRA, G.T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.34, p.1763-1771, 2004.

# CAPÍTULO 3

## MAPAS GEOESPACIAIS PARA OTIMIZAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO: ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO COM TAXA VARIÁVEL

GEOSPATIAL MAPS FOR SOIL FERTILITY OPTIMIZATION: STRATEGIES FOR VARIABLE RATE FERTILIZATION

**Sandro Luciano Barreto Fensterseifer**   

Doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria, (UFSM), Docente do Centro de Ciências Agrárias (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Jonathas Dornelles de Chairó Soares**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Larissa Kauane da Rosa Machado**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Cristian Miller Horbach**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.868 

**Resumo:** O trabalho aborda mapas geoespaciais para otimização da fertilidade do solo, estratégias de adubação com taxa variável. Com o aumento da demanda por alimentos e redução das áreas cultiváveis, a agricultura de precisão torna-se essencial para maximizar a produtividade em áreas limitadas. A técnica de adubação por taxa variável permite aplicar fertilizantes de acordo com a real necessidade de cada ponto da área, contrastando com a abordagem tradicional, que utiliza dosagens médias. Utilizando ferramentas como Google Earth Pro e ArcGIS, o estudo delimitou uma área de 907 hectares em Cruz Alta/RS, gerando mapas de altimetria, declividade, fertilidade e adubação. Foram criados 148 pontos de controle com dados simulados de fósforo e potássio, com cálculos ajustados às necessidades específicas de fertilização. Os resultados demonstraram a discrepância entre as médias gerais de adubação e as demandas locais, evidenciando que a aplicação homogênea resulta em desperdício ou subnutrição em algumas áreas. Concluiu-se que a aplicação em taxa variável aumenta a eficiência do uso de insumos, reduz custos e minimiza impactos ambientais. A visualização dos mapas revelou desigualdades na fertilidade e nas necessidades de nutrientes, comprovando a importância dessa abordagem para uma agricultura mais sustentável e produtiva. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento e validação de mapas geoespaciais para identificação da necessidade específica de fertilizantes em áreas agrícolas, promovendo maior eficiência no manejo da fertilidade do solo.

**Palavras-chave:** Geoestatística. Interpolação. Variabilidade Espacial.

**Abstract:** The study addresses the creation of a variable rate map database for efficient agricultural input application. With increasing food demand and shrinking arable land, precision agriculture is vital to maximize productivity in limited areas. The variable rate fertilization technique applies nutrients based on each point's specific needs, contrasting with traditional approaches using average dosages. Using tools like Google Earth Pro and ArcGIS, the study focused on a 907-hectare area in Cruz Alta/RS, generating altimetry, slope, fertility, and fertilization maps. A total of 148 control points with simulated data for phosphorus, potassium, and calcium were created, with adjustments calculated for specific fertilization needs. Results highlighted discrepancies between general fertilization averages and local demands, showing that homogeneous application leads to waste or undernutrition in some areas. It was concluded that variable rate application increases input efficiency, reduces costs, and minimizes environmental impacts. The map visualizations revealed disparities in fertility and nutrient requirements, underscoring the importance of this approach for more sustainable and productive agriculture. The objective of this work is the development and validation of geospatial maps to identify the specific need for fertilizers in agricultural areas, promoting greater efficiency in soil fertility management.

**Keywords:** Geostatistics. Interpolation. Spatial Variability.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura surgiu por volta de 12 mil anos atrás no período neolítico, é de extrema importância para a população mundial por ser principal fonte de sua alimentação, com o aumento desta demografia a demanda por alimentos vem tendo um aumento exponencial o que é o oposto em relação às áreas cultivadas, isto implica em um desafio aos produtores e profissionais da área que buscam aumentar a produtividade em uma área de mesmo tamanho ou até inferior a o que se tinha antigamente levando em conta a urbanização e redução da áreas rurais.

## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

Com o avanço da ciência e a intensificação do estudo do solo e dos componentes envolvidos na sua constituição, uma das alternativas foi a realização da adubação, visando repor os nutrientes que a planta retira para si como também fornecer o que esta mesma planta necessitava, esta adubação era realizada através de análises de solo que seguiam uma metodologia (8 a 12 subamostras geram uma amostra, cada amostra representa até 3 hectares) visando homogeneizar as amostras em relação à área. O resultado seria uma dosagem média de fertilizantes para a área toda.

Através de mais estudos foi possível descobrir que as áreas necessitavam de doses diferentes de adubação, e que se precisava de mais pontos de coleta para análise ser precisa sobre a área, o que resultaria em não mais uma dosagem média para a área toda, mas sim uma dosagem por taxa variável que consiste em aplicar em cada ponto da área o que realmente ela necessita.

Com a implementação da taxa variável foi necessário o aporte em tecnologias que tornem possível a implementação desta técnica na prática, dentre estas tecnologias está o sistema de informações geográficas (SIG) que vem junto ao maquinário que realizará o trabalho, atrelado a esta tecnologia que manipula diversos dados, é importante que se tenha um ajustamento bem feito dos mesmos visando a não ocorrência de erros na área, levando em consideração que esta técnica de aplicação de fertilizantes necessita de alta precisão.

Além dos benefícios econômicos, com economias substanciais no uso de fertilizantes minerais, a técnica contribui para a mitigação de impactos ambientais, reduzindo a lixiviação de nutrientes e a contaminação de recursos hídricos. Os resultados corroboram a literatura científica existente, como indicado por Molin *et al.* (2011) e McBratney *et al.* (2005), que destacam a importância da agricultura de precisão para a sustentabilidade agrícola.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento e validação de mapas geoespaciais para identificação da necessidade específica de fertilizantes em áreas agrícolas, promovendo maior eficiência no manejo da fertilidade do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A elaboração deste trabalho utilizou os softwares ArcGIS, Google Earth Pro e o Word, mapa de classificação de solos brasileiros e altimetria do estado do Rio Grande do Sul.

O computador que rodou estes softwares possui um processador intel i5 10400f com memória ram de 16 gb, Sistema operacional de 64 bits, processador baseado em x64 e windows 10.

## 2.1 Metodologia da pesquisa

Primeiramente foi delimitada a área que contém 907 hectares e fica localizada do município de Cruz Alta/RS, este recorte da área foi realizado com o auxílio do Google Earth Pro. Posteriormente esta imagem foi adicionada no software ArcGIS, sendo convertida para layer.

Adicionou-se o mapa de classificação de solos brasileiros, e utilizou-se a ferramenta corte para realizar o recorte deste mapa, deixando somente a classificação latossolo vermelho distrófico da área que foi delimitada anteriormente. Para realizar o mapa de altimetria da área, foi preciso exportar o mapa de altimetria do estado do Rio grande do Sul, após isto foi utilizado a ferramenta extrair por máscara para realizar o recorte deste mapa, deixando somente a altimetria da área que foi delimitada anteriormente. A declividade foi realizada a partir da altimetria, utilizando a ferramenta declive. Após isto, foi gerada as curvas de nível com a ferramenta contorno. Estes 3 parâmetros foram gerados para possibilitar uma melhor distribuição dos pontos de controle, visto que locais com declividade maior tendem a ter uma variação na fertilidade quando comparados a locais de baixa declividade.

Com a ferramenta criar pontos foram criados 148 pontos de controle que são locais onde foram coletadas as amostras desse solo. Após a criação destes pontos, foi adicionado a cada um deles os teores de fósforo ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) e potássio ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), estes valores são fictícios, porém se assemelham ao máximo com a realidade. A partir destes valores que estão em  $\text{mg}/\text{dm}^3$  foram calculados a fertilidade do solo em  $\text{kg}/\text{ha}^{-1}$  e a adubação necessária em  $\text{kg}/\text{ha}$ , levando em conta a recomendação de  $40 \text{ kg}/\text{ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $350 \text{ kg}/\text{ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

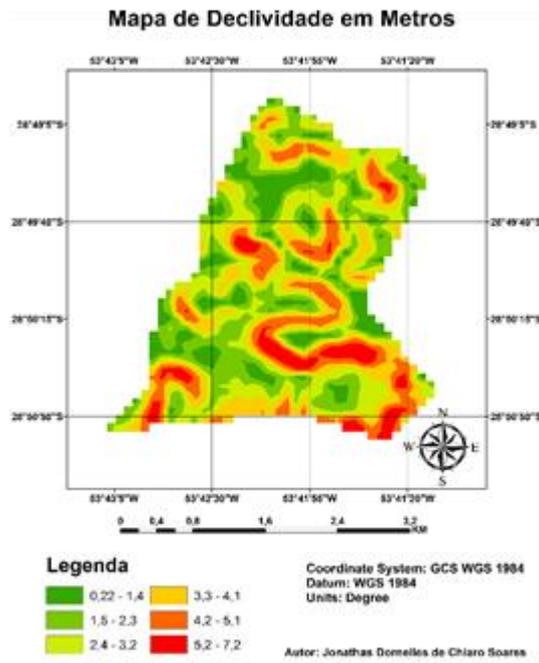
Com estes dados foi possível realizar os mapas de adubação e fertilidade. Com a ferramenta raster para ponto foi possível descobrir qual seria o total a ser aplicada na área caso fosse realizada a adubação por taxa variável.

Este estudo destina-se a agricultores, profissionais e estudantes da área agrônômica.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

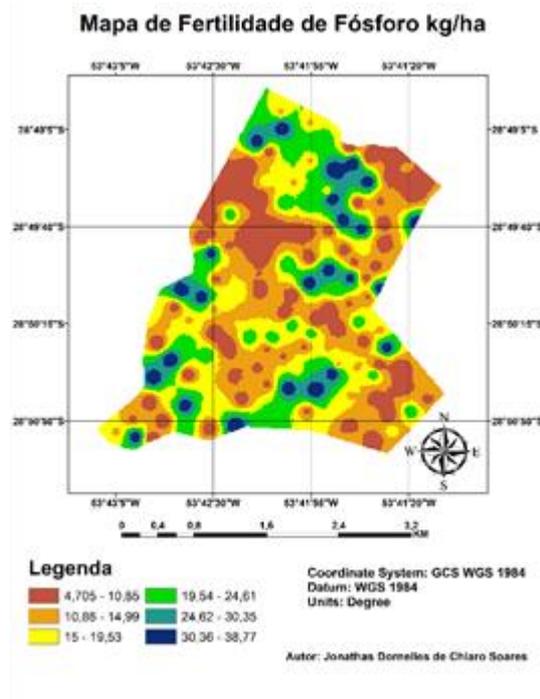
Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir da análise geoespacial realizada, destacando os principais aspectos da fertilidade do solo e as necessidades de adubação na área de estudo. Por meio dos mapas gerados, é possível visualizar a distribuição espacial de parâmetros como declividade, fertilidade de fósforo e potássio, além das recomendações de adubação. Esses resultados fornecem uma base inicial para compreender as variações existentes na área e a importância de abordagens mais precisas, como a adubação por taxa variável. As figuras a seguir ilustram os dados analisados, facilitando a interpretação e contextualização dos achados deste estudo.

Figura 1 – Mapa de Declividade em Metros.



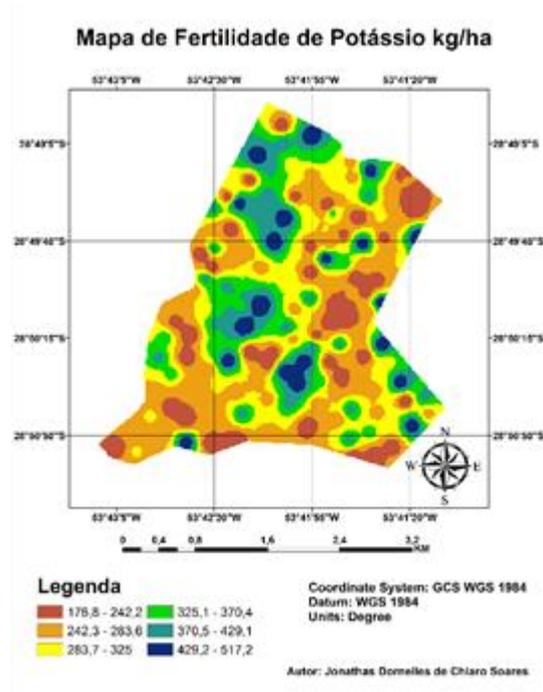
Fonte: Soares, J. D. C. (2024).

Figura 2 – Mapa de Fertilidade de Fósforo kg/ha.



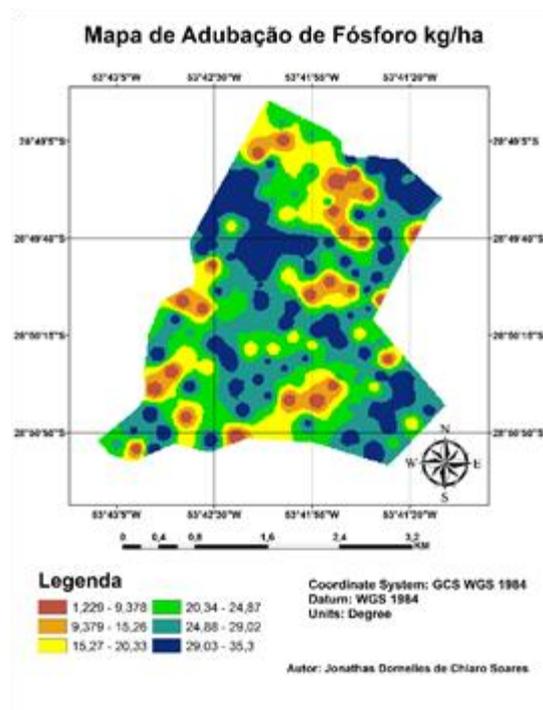
Fonte: Soares, J. D. C. (2024).

Figura 3 – Mapa de Adubação de Fósforo kg/ha.



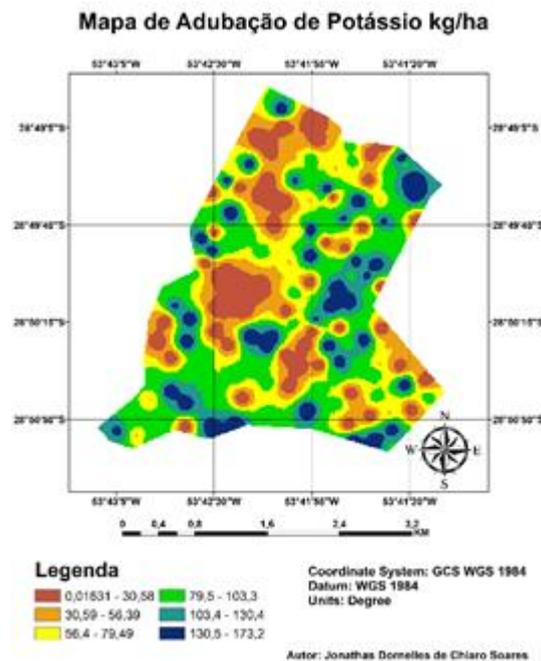
Fonte: Soares, J. D. C. (2024).

Figura 4 – Mapa de Fertilidade de Potássio kg/ha.



Fonte: Soares, J. D. C. (2024).

Figura 5 – Mapa de Adubação de Potássio kg/ha.



Fonte: Soares, J. D. C. (2024).

A discussão principal está relacionada com discrepância quando olhamos a média a ser aplicada na área total, ou seja, o método convencional e a real necessidade de cada ponto, em números a média de  $P_2O_5$  na área toda seria de 40 kg/ha resultaria em uma aplicação de 36.120 kg do nutriente, já com a aplicação por taxa variável o total resultaria em 18.963 kg, ou seja, 17.157 kg a menos.

Em 36.120 kg o gasto com superfosfato triplo seria de R\$ 97.542 já em 18.963 kg o gasto é de R\$ 51.200, tendo uma economia de R\$ 46.342.

$K_2O$  na área toda seria de 350 kg/ha resultaria em uma aplicação de 316.050 Kg do nutriente, já com a aplicação por taxa variável o total resultaria em 63.210 kg, ou seja, 252.840 kg a menos.

Em 316.050 kg o gasto com cloreto de potássio seria de R\$ 695.310 já em 63.210 kg o gasto é de R\$ 139.062, tendo uma economia de R\$ 556.248.

Tendo em vista o que foi abordado anteriormente, em uma área em que se busca a máxima produtividade, a efetividade com que vão ser utilizados os recursos deve ser alta, visando um melhor aproveitamento financeiro e ambiental, já que estes fertilizantes minerais são finitos. A adubação por taxa variável busca solucionar estas dificuldades.

## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

O uso de aplicação em taxa variável vem sendo cada vez mais comum, observa-se um melhor aproveitamento dos insumos tanto na otimização do custo, quanto no uso pela planta. Molin *et al.* (2011).

### 4 CONCLUSÃO

A análise e implementação da adubação por taxa variável, apoiada em técnicas de geoestatística e sistemas de informações geográficas, demonstraram ser uma abordagem eficaz e sustentável para a otimização da fertilidade do solo. A utilização de ferramentas como Google Earth Pro e ArcGIS possibilitou a geração de mapas precisos, evidenciando a variabilidade espacial da fertilidade do solo e das necessidades nutricionais específicas. Esses dados forneceram a base para o cálculo de doses ajustadas de fósforo e potássio, resultando em economias significativas nos insumos aplicados, com redução de desperdício e aumento da eficiência produtiva.

Portanto, conclui-se que a adubação por taxa variável, sustentada por tecnologias avançadas de análise espacial, representa uma estratégia indispensável para o futuro da agricultura, promovendo maior sustentabilidade ambiental, eficiência no uso de recursos naturais e aumento da produtividade. Este estudo reforça a necessidade de expandir o uso dessas tecnologias entre agricultores e profissionais da área, consolidando práticas agrícolas mais inteligentes e responsáveis.

### REFERÊNCIAS

- BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola [Internet]**, v. 28, n. 4, p. 645–653, out. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400004>
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; *et al.* Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. xx–xx, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662009000300011>
- GODWIN, R. J.; MILLER, P. C. H. A review of the technologies for mapping within-field variability. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 4, p. 393–407, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00045-5](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00045-5)
- HANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture: a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, n. 2–3, p. 113–132, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)

JOHNSTON, K.; VER HOEF, J. M.; KRIVORUCHKO, K.; LUCAS, N. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2001. Disponível em: <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/arcgis-geostatistical.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2025.

MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future Directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 7–23, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A.; GIMENEZ, L. M. Agricultura de Precisão: Gerenciamento da Variabilidade Espacial e Temporal em Sistemas Agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 801–808, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800013>

# CAPÍTULO 4

## METODOLOGIA DE CRIAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E ADUBAÇÃO POR TAXA VARIÁVEL EM UMA DETERMINADA ÁREA DE FREDERICO WESTPHALEN- RS

METHODOLOGY FOR CREATING FERTILITY MAPS AND VARIABLE RATE FERTILIZATION IN A CERTAIN AREA OF FREDERICO WESTPHALEN- RS

**Sandro Luciano Barreto Fensterseifer**   

Doutor em Engenharia Florestal, Docente do Centro de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal (UFSM), Frederico Westphalen-RS, Brasil

**Caroline Gabi da Silva**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen-RS, Brasil

**Júlia Scalei Carvalho**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen-RS, Brasil

**Luani Aparecida Calegari**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen-RS, Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.869 

**Resumo:** A Agricultura de Precisão é uma abordagem inovadora que combina tecnologia e ciência para otimizar práticas agrícolas, melhorar a produtividade e minimizar impactos ambientais. Este trabalho explorou a criação de mapas digitais e informações de adubação e fertilidade em uma área de 1.045 hectares em Frederico Westphalen, RS. A metodologia incluiu a delimitação da área no Google Earth, importação para o ArcGIS e o uso de dados geoespaciais para a criação de pontos amostrais para análise do nutriente K foram realizados. Dados fictícios de fertilidade foram atribuídos e convertidos para kg/ha, permitindo o cálculo de necessidades de adubação com fórmulas específicas. Mapas temáticos foram elaborados seguindo normas cartográficas, incluindo título, legenda, escala e orientação. A etapa final destacou a importância da tecnologia na redução de custos com adubos e na sustentabilidade agrícola, mostrando como a Agricultura de Precisão pode revolucionar a gestão agrícola, promovendo eficiência e maior lucratividade.

**Palavras-chave:** Agricultura. Adubação. sustentabilidade. Tecnologia.

**Abstract:** Precision Agriculture is an innovative approach that combines technology and science to optimize agricultural practices, improve productivity and minimize environmental impacts. This work explored the creation of digital maps and fertilization and fertility information in an area of 1,045 hectares in Frederico Westphalen, RS. The methodology included delimiting the area in Google Earth, importing it into ArcGIS and using geospatial data to create sampling points for nutrient K analysis. Fictitious fertility data were assigned and converted to kg/ha, allowing the calculation of fertilizer needs with specific formulas. Thematic maps were created following cartographic standards, including title, legend, scale and orientation. The final stage highlighted the importance of technology in reducing fertilizer costs and agricultural sustainability, showing how Precision Agriculture can revolutionize agricultural management, promoting efficiency and greater profitability.

**Keywords:** Agriculture. Fertilizing. sustainability. Technology.

## 1 INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão não é apenas uma técnica, mas uma filosofia que integra avanços tecnológicos para otimizar o uso de recursos e maximizar a produtividade, enquanto minimiza os impactos ambientais. Este trabalho explora os fundamentos de como é realizado as informações de adubação na qual a agricultura de precisão se embasa para realizar as práticas, expondo como essa abordagem inovadora está moldando o futuro da agricultura, monitorando, otimizando e gerenciando as operações agrícolas, oferecendo soluções personalizadas para cada centímetro de terra.

Dando sequência ao trabalho, o mesmo abordará os processos e a exposição de mapas digitais e informações de adubação e fertilidade referentes a uma determinada área de Frederico Westphalen, contendo 1.045 hectares, no município de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, localizado na região noroeste do estado (27°23'28,84" S; 53°39,45" W).

No atual contexto agropecuário, vivemos aos moldes da agricultura 4.0 ou agricultura digital, a utilização de recursos tecnológicos se tornou presentes no dia a dia do campo. Sendo

assim, aliando conhecimentos tecnológicos e agronômicos, se torna possível atribuir dados geográficas e geoespaciais nos quais trazem informações reais de uma determinada área, permitindo a interpretação de dados de forma facilitada e conseqüentemente proporcionando que o produtor tome decisões mais assertivas e precisas em sua lavoura.

Nesse sentido, a realização do trabalho teve como intuito principal a obtenção de conhecimento referente ao software ArcGis e Google Earth, em especial na produção de mapas, podendo ser utilizado em um futuro próximo.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A geração de informações sobre adubação abrange uma série de aspectos relacionados à aplicação eficiente de fertilizantes na agricultura. Essa área envolve a avaliação de fertilidade do solo, recomendações precisas de fertilizantes, práticas de adubação de precisão e consideração sobre sustentabilidade. Tecnologias avançadas, como sensores remotos, análise de solo, softwares e entre outras ferramentas de alta tecnologia e modelagem de crescimento de culturas, estão disponíveis e desempenham um papel crucial na coleta e interpretação de dados para orientar as decisões de adubação.

A agricultura de precisão (AP) é uma abordagem que busca otimizar a produtividade agrícola por meio do uso de tecnologias avançadas para gerenciar variabilidades intra-campo, visando o uso eficiente de insumos, contribuindo para maior sustentabilidade ambiental e economia.

O Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, elaborado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC), é uma referência técnica fundamental para o manejo eficiente da fertilidade do solo na região Sul do Brasil. Este documento orienta produtores e técnicos sobre as melhores práticas de adubação e calagem, considerando as particularidades climáticas, culturais e edáficas dessas regiões.

A adubação com assertividade, que leva em conta a variabilidade espacial das condições do solo, como a classificação do solo, relevo, fertilidade é uma abordagem importante para otimizar o uso de fertilizantes, contemplando a geração de mapas que irão nos mostrar em detalhes as informações necessárias. A revisão bibliográfica destaca ainda desafios, como os impactos ambientais, e aponta para futuras direções, como a integração de tecnologias emergentes e práticas sustentáveis na gestão de adubos.

Contudo, temos em vista que a geração de informações de adubação busca melhorar a eficiência agrícola, maximizando a produção de culturas de maneira sustentável e minimizando impactos negativos no meio ambiente.

## 2.1 Caracterização da pesquisa

Para realização do projeto foi utilizado um software de sistema de informação geográfica, SIG (uma tecnologia que lida com a coleta, análise, interpretação, apresentação e compartilhamento de informações geoespaciais, ou seja, dados que têm uma localização específica na superfície da Terra), o ArcGis, e também o Google Earth, onde se utilizou as ferramentas disponíveis das respectivas plataformas para se gerar os mapas necessários e para posterior interpretação das informações obtidas. O trabalho foi executado no Laboratório de Informática da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen, na disciplina de Ajustamento de Observações Geodésicas, ministrada pelo Professor Dr. Sandro Luciano Barreto Fensterseifer, através de um notebook Acer windows 10.

## 2.2 Área de Estudo e Público-alvo

O estudo foi realizado na cidade de Frederico Westphalen, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de fornecer apoio e orientação a produtores rurais, engenheiros agrônomos e estudantes da área de ciências agrárias. A intenção principal foi apresentar e disponibilizar ferramentas que possam ser utilizadas na prática da agricultura de precisão, auxiliando esses profissionais a aplicar técnicas mais eficientes e sustentáveis no manejo das culturas. A metodologia visa contribuir com o aprimoramento das práticas agrícolas, proporcionando uma abordagem mais precisa.

## 2.3 Metodologia da pesquisa

### 2.3.1 Importação dos limites da área do projeto

Inicialmente realizou-se a delimitação da área para estudo através da plataforma Google Earth, utilizando a ferramenta Polígonos, então depois de gerado o arquivo, fez-se o download no formato kml para posteriormente introduzi-lo ao software ArcGIS.

Para a operação ser feita, devemos habilitar o arctoolbox, e configurar corretamente o ArcGis. Após feita a configuração, foram realizados os seguintes passos, (Conversion Tools - From KML - KML to layer, e em seguida insere o arquivo kml contendo os limites da área). Dando continuidade deve-se ir em propriedades e mudar a simbologia, deixando sem coloração de preenchimento e com as bordas dos limites destacadas, aumentando a espessura e impor uma cor com destaque.

### 2.3.2 Pontos amostrais

Neste momento, temos como objetivo gerar pontos dentro da área escolhida onde serão coletadas amostras de solo para obtenção de dados de fertilidade de potássio (K).

Roteiro para esta etapa: - Geoprocessing - Environments - Processing Extent (Extent: Same as layer Polygons e Raster Analysis em Mask: adicionar a camada Limites/Polygons), este processo somente passa para o programa onde ele deve gerar os cálculos. Após finalizado continuamos com: -Arctoolbox - Data management tools - Sampling - Create random points (output point feature class: Pontos\_de\_controle), na opção Long: 100. O software irá gerar alguns pontos fora do limite definido da área, pois para os mesmos estes pontos são importantes para análise, porém não é de interesse do projeto a coleta de pontos fora dos limites da área, então deve-se excluir os pontos que estão fora do limite e preencher em áreas que estão em branco ou em áreas de interesse. - Editor - Start editing, selecionar pontos de controle. - Selecionar os pontos fora do limite do projeto e deletar. Para melhorar a resolução e a realização desta etapa devemos ir em ADD base map e inserir novos pontos. Após isso, selecionamos a ferramenta create features e adicionamos pontos em lugares necessários como citado anteriormente. Em propriedades da camada pontos de controle e abre-se o banco de dados (open attribute table), aqui pode-se ver o número de pontos de amostra (neste caso 156).

### 2.3.3 Gerar base de dados de potássio (K) coletados a campo

Nessa etapa foi gerado um banco de dados contendo valores fictícios potássio. Todos os pontos receberam valores. Inicialmente os valores gerados são em  $\text{mg}/\text{dm}^3$  e após foi utilizado a ferramenta, FIELD CALCULATOR e multiplicado o valor por dois para calcular o valor em  $\text{Kg}/\text{ha}$ . Esses dados devem ser obtidos a partir de análise de amostras de solos, ou de informações consistentes de solo sobre a região em que a área do projeto está localizada. Para isso devemos realizar colunas para se adicionar os dados individuais para cada nutriente na unidade  $\text{mg}/\text{dm}^3$  e outras camadas individuais para nutrientes, porém com a unidade  $\text{kg}/\text{ha}$ . Os dados serão inseridos em  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , e depois iremos transformar para  $\text{kg}/\text{ha}$ .

Roteiro desta etapa: - Propriedades da camada “Pontos de amostragem”, e na opção Open Attribute Table, teremos a aba do banco de dados com todos os pontos gerados. -Para fazer a adição das colunas de dados de todos os nutrientes, vamos na opção Table Options em Add Field, uma aba é aberta, e na opção Name, colocamos o nome “K fertilidade  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ”, é de suma importância que na opção Type, selecione a opção Float, após realiza o mesmo processo, porém para criar coluna K em  $\text{kg}/\text{ha}$  e para finalizar adubação  $\text{kg}/\text{ha}$ . - Os dados encontrados da região onde fica a área serão inseridos nas colunas de nutrientes na unidade  $\text{mg}/\text{dm}^3$ .

### 2.3.4 Transformações de mg/dm<sup>3</sup> para kh/ha

Após o preenchimento dos dados, é preciso transformar os dados para kg/ha, para posteriormente calcular as necessidades de adubação necessárias. -Transformação: Na coluna do nutriente deve-se apertar com o botão direito do mouse e na opção Field Calculator, abrirá um espaço para colocar a fórmula, então devemos selecionar a coluna K fertilidade mg/dm<sup>3</sup> e multiplicar por 2, devesse aparecer desta forma: [Ca\_Fertilidade\_mg\_dm]\*2.

### 2.3.5 Cálculo de adubação

Para calcular as necessidades de adubação clicar com botão direito sob a coluna que se deseja calcular e seguir a fórmula:  $K_{adubação\_kg\_ha} = 250 - (K_{fertilidade\_kg\_ha})$

Obs: valores negativos devem ser substituídos por zero.

### 2.3.6 Conversão para pontos

Para realizar a conversão para pontos, seguimos os respectivos passos:

Conversion Tools - From raster - Raster To Point (input: Adubação K kg ha), após isso, vamos alterar o nome “Adubação K”. Obs: No banco de dados, criar uma coluna ADD FIELD, com o nome: “Adubacao\_kg\_ha” (Float), como citado anteriormente.

Resumindo, foi realizado a interpolação dos pontos de coleta utilizando a ferramenta INTERPOLATION - IDW - (pontos de coleta) - (nutriente a ser interpolado). Foi feito isso para gerar o mapa de fertilidade e adubação, referente aos nutrientes analisados, totalizando 2 mapas.

Equação utilizada= (área do pixel\*grid code)/10000

### 2.3.7 Elaboração dos mapas

Nessa etapa, montamos os mapas nas suas respectivas normas.

Primeiramente fomos até a ferramenta View e depois Layout View, que permite você trabalhar com os elementos do layout do seu mapa, além dos dados que ele contém.

Posteriormente seguimos com os passos: File- Page and print setup- por em folha A3 e ajustar Orientation de acordo com o seu mapa, podendo ajustar em Portrait e Landscape (forma utilizada neste projeto).

Após isso colocamos o título na ferramenta Insert-Title, e grade, que deve clicar com o botão direito em cima do mapa, ir em Propriedades-Grid-New Grid e ajustar os intervalos e o modelo a ser utilizado. Seguindo as normas, adicionamos legenda, rosa dos ventos e a escala, ambos vamos na ferramenta Insert - Legend (legenda) - North Arrow (rosa dos ventos) - Scale

Bar (escala). E para finalizar fazemos o download do mapa gerado, para isso fomos em FileExport Map, e baixamos a imagem em BTP.

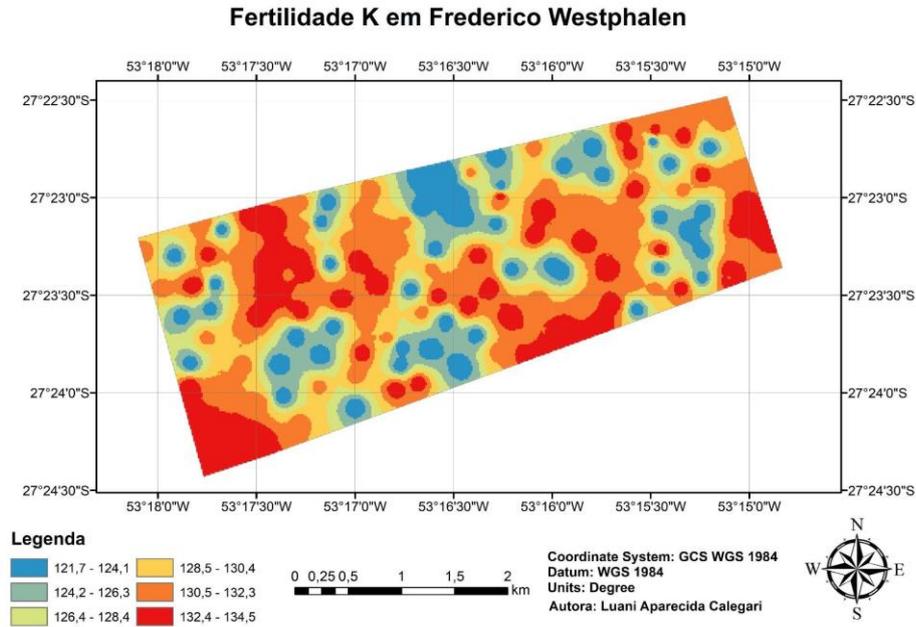
### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No cenário atual, nota-se um grande desafio referente à fertilidade de uma lavoura e até mesmo o conhecimento do solo na qual o mesmo está manejando, principalmente em pequenos produtores. Com isso, ao aplicar o fertilizante na área, o produtor acaba realizando o aporte em lugares em que não é necessário, não levando em consideração o tipo do solo, ou as dimensões de relevo, onde pode ocorrer um deslizamento ou erosões, levando os nutrientes fornecidos pela aplicação. Em virtude disso, o produtor acaba perdendo em produtividade da área e consequentemente diminuindo seus lucros.

Dessa forma, diante dos resultados obtidos, nota-se a possibilidade de aplicação em taxa variável de fertilizantes, através da produção de mapas de fertilidade e adubação de uma determinada área. Com isso, é possível realizar um maior aproveitamento dos nutrientes aplicados, aliado com uma maior produtividade e aumentando os lucros da propriedade, tendo em vista, a adequação de um manejo conforme formação, e classificação, e declividade do solo ou área.

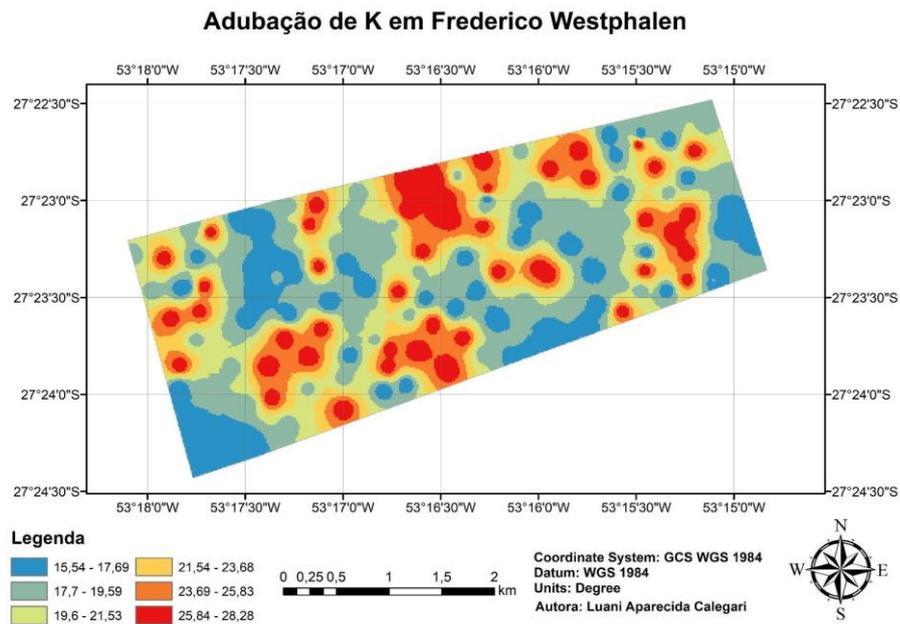
Dentre isso, a utilização da agricultura de precisão se torna imprescindível para realizar uma boa adubação, de acordo com a necessidade dos pontos da área, com a aplicação somente onde a necessidade. Citando um exemplo, a aplicação de potássio (K) em toda a área de 1.045 hectares, com a precificação de R\$ 2.200,00 a tonelada de KCl (cloreto de potássio, com teor de 58% de K), aplicando a dose máxima que foi necessário em toda a área seria necessário 50.952,75 kg de fertilizante haveria gerando um custo de R\$ 112.096,07, já utilizando a aplicação por taxa variável serão necessários aplicar 38.795,22 kg tendo um custo de R\$ 85.349,48.

Figura 1 – Fertilidade de K em uma determinada área de Frederico Westphalen.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 2 – Adubação de K em uma determinada área de Frederico Westphalen.



Fonte: Autores, 2025.

#### 4 CONCLUSÃO

Ademais, a redução de custos com a aplicação de adubos, que é a maior parte dos custos para a produção, que pode ser ajustado com a geração de informações de adubação e gerando mapas temáticos. Portanto, percebesse que devemos sempre estar atentos às inovações do mercado, com tecnologias e ferramentas que favorecem a otimização de investimento e nos auxiliando para elevar as produtividades e trazer maior lucratividade e sustentabilidade para os produtores. Por fim, a elaboração do presente projeto, utilizando dois softwares de grande relevância no mercado do agronegócio (ArcGis, Google Earth), trouxe grandes aprendizados que somente na prática aprendemos.

Por serem programas um pouco complexos e pelo desconhecimento do mesmo, tive pequenas dificuldades com o notebook utilizado para a realização do projeto, o qual por ser antigo teve certas dificuldades para rodar o programa, ressalto que é uma área de grande importância para nós futuros agrônomos, em virtude do mesmo, me agradou bastante os conhecimentos obtidos através da elaboração do trabalho.

#### REFERÊNCIAS

SOCIETY BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul - UFRGS, 2016. 376 p.

BRUNETTO, GATIBONI, SANTOS, SAGGIN, KAMINSKI. **Critical level and crop yield response to potassium in a typic Hapludalf under no-tillage**. ScieLO, 2005.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Resources Observation and Science (EROS) Center**. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. Disponível em: Acesso em: 03 de dezembro. 2024. SRTM-Portal Embrapa.

# CAPÍTULO 5

## AJUSTE DE OBSERVAÇÕES GEODÉSICAS E A ELABORAÇÃO DO MAPA DE FERTILIDADE DE PALMEIRA DAS MISSÕES, RIO GRANDE DO SUL

GEODETTIC OBSERVATIONS ADJUSTMENT AND FERTILITY MAP DEVELOPMENT  
FOR PALMEIRA DAS MISSÕES, RIO GRANDE DO SUL

**Sandro Luciano Barreto Fensterseifer**   

Doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria, (UFSM), Docente do Centro de Ciências Agrárias (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Esther Castanho da Maia Taborda**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Fernanda Cavalheiro dos Santos**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Luís Felipe Albarello**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.870 

**Resumo:** Este estudo investigou a aplicação de adubação por taxa variável (ATV) para a elaboração de mapas de fertilidade no município de Palmeira das Missões – RS, visando otimizar o manejo agrícola. O objetivo foi desenvolver mapas temáticos interpolados que auxiliem na tomada de decisões para uma agricultura mais eficiente e sustentável. A metodologia envolveu o uso de softwares especializados, como ArcGIS, para a coleta, análise e processamento de dados georreferenciados. Mapas de fertilidade e adubação foram gerados com base em análises espaciais detalhadas, incluindo interpolação de dados e cálculos específicos para nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Dados baseados em laudos prévios foram utilizados para simular a variabilidade espacial da fertilidade. Os resultados demonstraram que o uso da ATV reduz significativamente o consumo de insumos agrícolas. A aplicação uniforme requereria 101.625,6 kg/ha de N, 63.516,0 kg/ha de P e 127.032,0 kg/ha de K. Com ATV, essas demandas caíram para 19.662,1 kg/ha de N, 20.776,3 kg/ha de P e 48.858,2 kg/ha de K. A redução expressiva de insumos destaca o impacto positivo da agricultura de precisão na redução de custos e preservação ambiental. Conclui-se que a aplicação por taxa variável, suportada por tecnologias geoespaciais, é essencial para a sustentabilidade agrícola, promovendo eficiência produtiva e mitigando impactos ambientais. Este trabalho reforça a necessidade de ampliar o uso de ferramentas tecnológicas no setor agrícola.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Taxa variável. Sistemas de informação geográfica.

**Abstract:** This study investigated the application of variable rate application (VRA) for the development of fertility maps in Palmeira das Missões - Rio Grande do Sul, Brazil. Such techniques aim to optimize agricultural management through variable rate application (VRA). The objective was to develop thematic maps to assist decision-making for more efficient and sustainable agriculture. The methodology involved using specialized software, such as ArcGIS and Google Earth, to collect, analyze and process georeferenced data. Fertility and fertilization maps were generated based on detailed spatial analyses. It included data interpolation and specific calculations for nutrients such as Nitrogen (N), Phosphorus (P) and Potassium (K). Data based on previous reports, were used to simulate the spatial variability of fertility. The results demonstrated that the use of VRA significantly reduces the consumption of agricultural inputs. The uniform application would require 101,625.6 kg/ha of N, 63,516.0 kg/ha of P, and 127,032.0 kg/ha of K. With ATV, these demands fell to 19,662.1 kg/ha of N, 20,776.3 kg/ha of P, and 48,858.2 kg/ha of K. The significant reduction in inputs highlights the positive impact of precision agriculture on cost reduction and environmental preservation. We conclude that variable rate application, supported by geospatial technologies, is essential for agricultural sustainability. It promotes productive efficiency and mitigates environmental impacts. This work reinforces the need to expand the use of technological tools in the farming sector.

**Keywords:** Precision agriculture. Variable rate. Geographic information systems.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta um estudo detalhado sobre a aplicação de uma metodologia de adubação seguindo os preceitos da agricultura de precisão, para a elaboração de mapas de fertilidade no município de Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul. A pesquisa destaca a relevância da agricultura de precisão, com foco na aplicação por taxa variável (ATV), como uma ferramenta inovadora para otimizar o manejo agrícola. Utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ArcGIS, o estudo busca integrar dados geodésicos e de

fertilidade para propor soluções práticas e sustentáveis que promovam a eficiência no uso de insumos e a preservação ambiental. O objetivo geral é aplicar uma metodologia gerada através da geoinformação para gerar mapas temáticos que auxiliem na tomada de decisão para um manejo agrícola mais eficiente, econômico e ambientalmente responsável.

A Agricultura de Precisão (AP) utiliza tecnologias avançadas para otimizar o uso de insumos e melhorar a produtividade agrícola, baseando-se na variabilidade espacial e temporal do solo. De acordo com Cazale e Cazale (2022), a AP permite maximizar o uso de recursos como fertilizantes, sementes e água, melhorando a qualidade dos produtos e reduzindo os impactos ambientais. Isso beneficia tanto os agricultores quanto os consumidores, promovendo uma agricultura mais eficiente e sustentável.

Uma das principais técnicas dentro da AP é a aplicação por taxa variável (ATV), que ajusta a aplicação de insumos conforme as necessidades específicas do solo. Como afirmam Cazale e Cazale (2022, p. 193), "*A análise de dados apurados por meio de mapas de produtividade possibilita ao agricultor regular a aplicação de adubos, sementes e corretivos, conforme a necessidade do solo*". Essa precisão contribui para evitar desperdícios e maximizar os rendimentos. A ATV é particularmente eficaz na aplicação de fertilizantes NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, promovendo uma nutrição mais equilibrada e um retorno econômico mais significativo para os produtores (Werner *et al.*, 2007).

A crescente demanda global por alimentos e a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis destacam a importância da AP. Tecnologias como drones, sensores e sistemas de mapeamento têm transformado a agricultura, tornando-a mais conectada e eficiente. A implementação do 5G, por exemplo, promete aumentar a produtividade em até 25%, conforme Cazale e Cazale (2022). No Brasil, a AP tem ganhado força, e segundo a Embrapa (2020), "*84% dos agricultores brasileiros já utilizam ao menos uma tecnologia digital como ferramenta de apoio na produção agrícola*", refletindo diretamente na competitividade e na sustentabilidade do setor.

Além da ATV, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido fundamentais na AP, permitindo a integração de dados de diversas fontes, como imagens de satélite e amostras georreferenciadas. Ferreira (2019) destaca que o SIG facilita a geração de mapas e gráficos, oferecendo informações cruciais para a tomada de decisões mais precisas e eficientes. Isso não só aumenta a produtividade, mas também reduz custos e otimiza o uso de insumos, contribuindo para a sustentabilidade e competitividade do setor agrícola. Como explica Rocha *et al.* (2015), o SIG revela padrões espaciais complexos, permitindo decisões estratégicas que seriam difíceis de alcançar com métodos tradicionais.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da pesquisa**

A presente pesquisa teve como objetivo principal inserir informações de fertilidade por amostragem à campo que geraram parâmetros a serem aplicados do nutriente seguindo a metodologia de taxa variável, comparando este com o processo convencional. A área de estudo foi em Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul – Brasil, totalizando 1270,32 hectares, objetivando-se gerar informações que sirvam como embasamento para recomendações para os agricultores da região e informações para embasamentos científicos.

### **2.3 Metodologia da pesquisa**

A metodologia utilizada para a elaboração do projeto de geoprocessamento da área de Palmeira das Missões, no Rio Grande do Sul, foi baseada em etapas que envolveram o uso de ferramentas do ArcGIS.

#### **2.3.1 Importação de dados**

Realizou-se a delimitação no servidor de imagens do Google Earth, abrangendo aproximadamente 1270,32 hectares, o polígono gerado foi salvo no formato KMZ/KML, nomeado com o nome da cidade do estudo.

#### **2.3.2 Recorte da área de interesse**

Realizou-se o recorte da área de interesse, extraindo os dados altimétricos da área delimitada, a partir disso foi gerado o mapa de altimetria, que serviu como parâmetro indicativo dos pontos de controle a serem estabelecidos a nível de campo.

#### **2.3.3 Inserção dos pontos de controle**

Para a análise da fertilidade do solo, foram adicionados pontos amostrais distribuídos pela área, e em seguida, criaram-se novas colunas na tabela de atributos para registrar os valores de fertilidade dos nutrientes essenciais (nitrogênio, fósforo e potássio), inicialmente em mg/dm<sup>2</sup> e posteriormente convertidos para kg/ha. A adubação também foi calculada com base nesses valores, utilizando a tabela de recomendação de adubação para a região.

### 2.3.4 Inserção de parâmetros do banco de dados

Os cálculos de fertilidade e adubação foram realizados por meio da ferramenta Raster Calculator do ArcGIS, multiplicando os valores de fertilidade por 2 para obter os valores em kg/ha, e utilizando esses dados para gerar os mapas de fertilidade e adubação.

### 2.3.5 Modelo de Interpolação

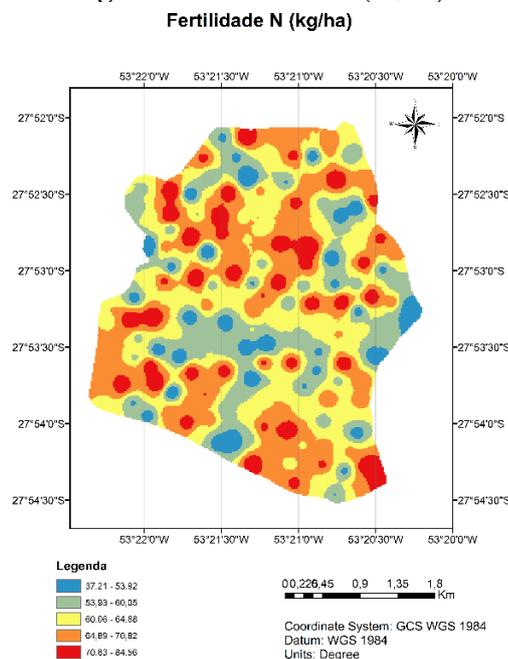
Os mapas foram gerados utilizando a interpolação por Kriging, e ajustaram-se os valores das classes de acordo com as necessidades da análise, os mapas gerados foram ajustados para o sistema de projeção UTM Mercator, e transformados em pontos de adubação. As colunas de adubação foram calculadas com base na resolução do pixel e na área de cada célula, e os valores de adubação foram verificados e corrigidos com base nas recomendações para a área de estudo.

### 2.3.6 Elaboração dos Mapas de Fertilidade e Adubação

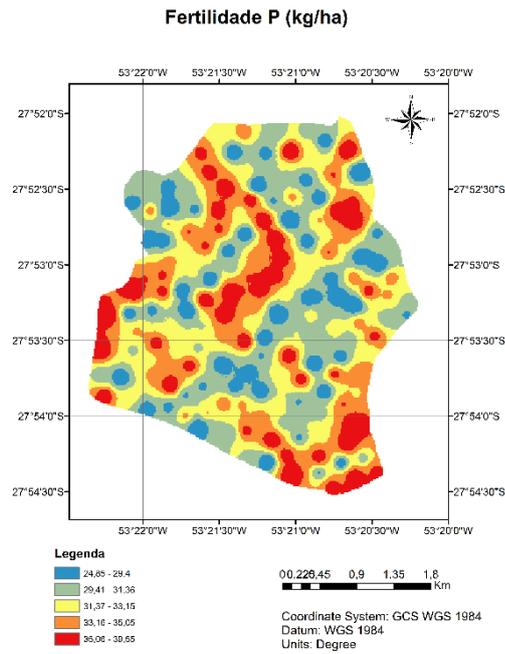
Envolveu a adição de elementos cartográficos como títulos, legendas, coordenadas e escala, e os mapas foram exportados em alta resolução para posterior utilização. Esse processo resultou em mapas detalhados de fertilidade e adubação, fornecendo uma base sólida para a análise da aplicação de taxa variável de fertilizantes na área de estudo.

## 3 RESULTADOS

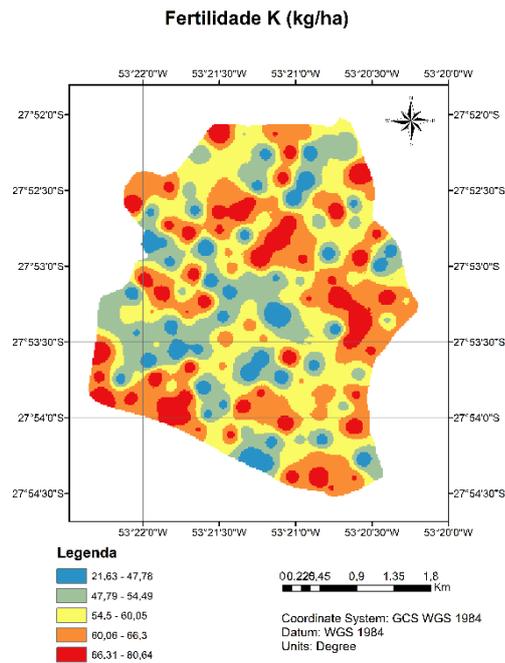
**Figura 1 – Fertilidade N (ka/ha).**



Fonte: ArcGIS, criação de mapa (Taborda, 2024).

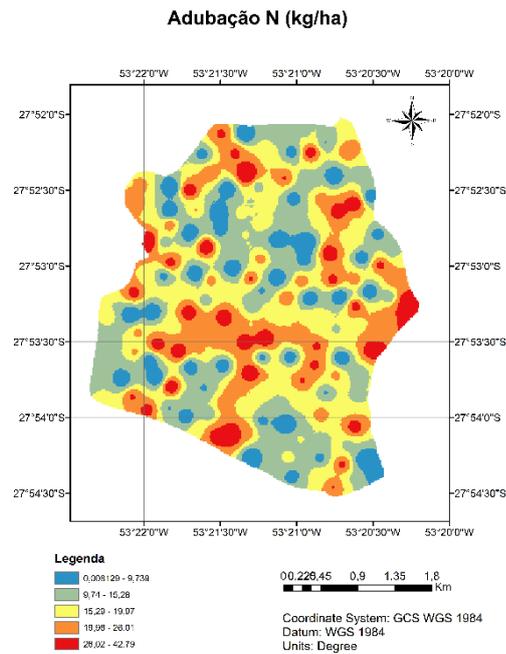
**Figura 2** – Fertilidade P (ka/ha).

Fonte: ArcGIS, criação de mapa (Taborda, 2024).

**Figura 3** – Fertilidade K (ka/ha).

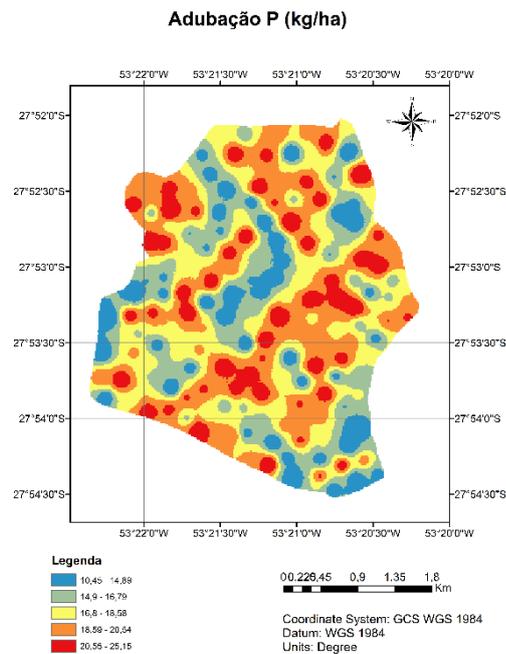
Fonte: ArcGIS, criação de mapa (Taborda, 2024).

Figura 4 – Adubação N (ka/ha).



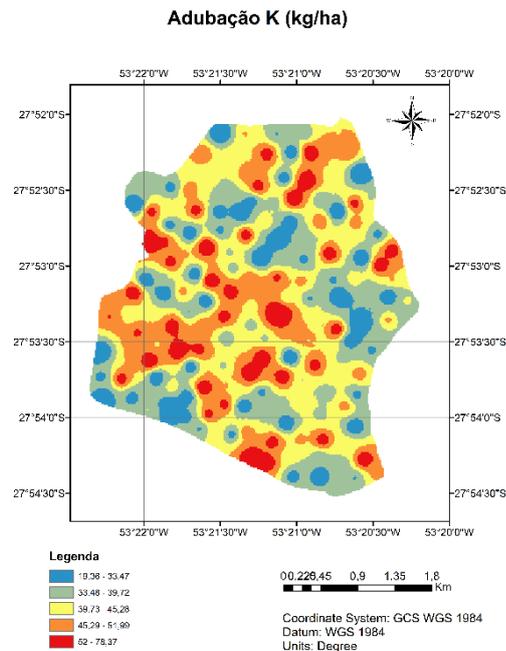
Fonte: ArcGIS, criação de mapa (Taborda, 2024).

Figura 5 – Adubação P (ka/ha).



Fonte: ArcGIS, criação de mapa (Taborda, 2024).

Figura 6 – Adubação K (ka/ha).



Fonte: ArcGIS, criação de mapa (Taborda, 2024).

### 3 DISCUSSÃO

A agricultura de precisão (AP), com foco na aplicação por taxa variável (ATV), tem se consolidado como uma solução eficaz para otimizar o uso de recursos na produção agrícola, especialmente no manejo de fertilizantes. A ATV ajusta a dosagem de insumos conforme a variabilidade do solo, permitindo uma aplicação mais precisa e eficiente em comparação aos métodos tradicionais, que aplicam fertilizantes de forma uniforme, resultando em desperdício e impactos ambientais negativos. A importância de ajustar a aplicação de insumos à variabilidade espacial do solo é destacada por Cazale e Cazale (2022), que apontam que a análise de dados de produtividade por meio de mapas permite ao agricultor regular a aplicação de adubos, sementes e corretivos de maneira otimizada, conforme as reais necessidades do solo. Tal prática minimiza os desperdícios, maximiza os rendimentos e, conseqüentemente, melhora a eficiência no uso dos recursos.

Estudos indicam que a ATV pode reduzir os custos operacionais em até 20% e aumentar a produtividade em até 25%, proporcionando ganhos econômicos substanciais para os produtores (Werner *et al.*, 2007). Esses dados refletem as evidências empíricas de que a precisão na aplicação de insumos contribui não apenas para a redução de custos diretos, mas também para

## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

uma maior rentabilidade nas operações agrícolas. A ATV é particularmente eficaz na aplicação de fertilizantes NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, promovendo uma nutrição mais equilibrada e otimizando o uso desses insumos essenciais.

No estudo realizado, a comparação entre a aplicação convencional e a ATV em uma área de 1270,32 hectares revelou uma diferença significativa na quantidade de fertilizantes necessários: enquanto a abordagem convencional exigiria 101.625,60 kg de nitrogênio, 63.516,00 kg de fósforo e 127.032,00 kg de potássio, a ATV demandou apenas 19.662,09 kg de nitrogênio, 20.776,33 kg de fósforo e 48.858,19 kg de potássio. Esses resultados evidenciam o impacto positivo da ATV na redução dos insumos, alinhando-se com os achados de Cazale e Cazale (2022), que relatam que o uso preciso de fertilizantes melhora a qualidade do solo e aumenta a eficiência produtiva, ao mesmo tempo que reduz os impactos ambientais, especialmente a poluição do solo e da água. A aplicação de fertilizantes de forma mais direcionada contribui para a saúde do ecossistema agrícola e para a sustentabilidade das práticas agrícolas a longo prazo.

Além dos benefícios econômicos, a ATV também contribui para a sustentabilidade da agricultura, minimizando a poluição do solo e da água, e aumentando a eficiência produtiva a longo prazo. Tecnologias como drones, sensores e sistemas de mapeamento têm revolucionado a agricultura de precisão, permitindo um monitoramento constante e a coleta de dados em tempo real, o que facilita a adaptação das práticas agrícolas conforme as mudanças nas condições ambientais e nas necessidades do solo (Cazale; Cazale, 2022). O uso de tecnologias emergentes, como o 5G, promete um aumento substancial na conectividade e na velocidade da transmissão de dados, o que poderá ampliar ainda mais a eficiência da agricultura de precisão, proporcionando ganhos de produtividade de até 25% (Cazale; Cazale, 2022).

No contexto brasileiro, a AP tem ganhado força, com um aumento expressivo na adoção de tecnologias digitais no campo. Segundo a Embrapa (2020), 84% dos agricultores brasileiros já utilizam pelo menos uma ferramenta digital em suas operações, o que reflete a crescente adesão à agricultura de precisão e sua contribuição para a competitividade do setor agrícola. O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como destaca Ferreira (2019), tem sido essencial na integração de dados provenientes de diversas fontes, como imagens de satélite e amostras georreferenciadas, permitindo a criação de mapas e gráficos que ajudam na tomada de decisões mais precisas e eficientes. O SIG, como apontado por Rocha *et al.* (2015), revela padrões espaciais complexos, proporcionando uma compreensão mais aprofundada das variabilidades do solo e das culturas, o que torna possível a adoção de práticas de manejo mais adequadas e eficazes.

#### 4 CONCLUSÃO

Este estudo investigou a aplicação de adubação por taxa variável (ATV) no município de Palmeira das Missões – RS, com o objetivo de otimizar o manejo agrícola e promover uma agricultura mais eficiente e sustentável. A utilização de tecnologias geoespaciais, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitiu a elaboração de mapas de fertilidade detalhados, facilitando a aplicação precisa de insumos de acordo com as variabilidades do solo. Os resultados demonstraram que a ATV reduziu significativamente a quantidade de fertilizantes utilizados, destacando o potencial dessa abordagem para aumentar a produtividade e diminuir os custos operacionais.

A adoção da ATV, ao ajustar a aplicação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) conforme as necessidades específicas de cada área, não só gerou ganhos econômicos para os agricultores, mas também contribuiu para a redução dos impactos ambientais, como a poluição do solo e da água. Além disso, a precisão proporcionada pela ATV, combinada com a análise de dados geoespaciais, mostrou-se fundamental para a tomada de decisões mais assertivas e sustentáveis, alinhando-se aos objetivos de promover uma agricultura responsável, eficiente e competitiva.

Contudo, a aplicação por taxa variável e o uso de tecnologias como o SIG se consolidam como estratégias essenciais para enfrentar os desafios do agronegócio contemporâneo, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos, a maximização da rentabilidade e a preservação ambiental a longo prazo. Este estudo reforça a importância do investimento em ferramentas tecnológicas como um caminho para uma agricultura mais eficiente, sustentável e competitiva.

#### REFERÊNCIAS

CAZALE, A. T.; CAZALE, R. C. T. Agricultura de precisão e a aplicação por taxa variável: impulsionadores da competitividade e desenvolvimento do agronegócio. *In: CIÊNCIAS AGRÁRIAS: diálogos em pesquisa, tecnologia e transformação*. v. 4, cap. 16. [S.l.]: Editora e-Publicar, 2023. DOI: 10.47402/[ed.ep.c202344116808](https://doi.org/10.47402/ed.ep.c202344116808)

FERREIRA, M. L. Sistema de informação geográfica (SIG) aplicado na agricultura de precisão. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 4, ed. 4, v. 3, p. 15–23, 2019.

WERNER, V. *et al.* Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 658–663, 2007.

# CAPÍTULO 6

## APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO EM CONSTANTINA-RS: UM ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO POR TAXA VARIÁVEL

APPLICATION OF TECHNOLOGIES FOR SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN  
CONSTANTINA-RS: A STUDY ON VARIABLE RATE APPLICATION

**Sandro Luciano Barreto Fensterseifer**   

Doutor em Engenharia Florestal, Docente do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal (UFSM), Frederico Westphalen-RS, Brasil

**Eduarda Meneghello Gheller**   

Estudante de Graduação em Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Frederico Westphalen-RS, Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.871 

**Resumo:** O presente trabalho aborda o uso da agricultura de precisão como alternativa para o manejo de solos, com foco no município de Constantina-RS, propondo a criação de mapas de precisão utilizando a Plataforma ArcGis Windows 10.8, no intuito de exibir a desarmonia de fertilidade em determinados pontos de uma área e ajustar a aplicação de fertilizantes às condições necessárias de cada área agrícola. A pesquisa foi realizada durante aulas práticas por acadêmicos de agronomia da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Frederico Westphalen, onde foram criados os mapas de fertilidade e adubação para fósforo (P) e zinco (Zn). Os resultados evidenciaram variações significativas na distribuição destes nutrientes no solo, mostrando a eficiência da adubação por taxa variável em comparação com o método convencional. A aplicação por taxa variável mostrou-se mais eficaz, reduzindo custos de produção e possibilitando distribuição homogênea na área. Concluiu-se que a agricultura de precisão apresenta vantagens econômicas para o produtor rural, sendo uma alternativa crucial para o manejo do solo, além de que ressaltou a importância desta técnica para a tomada de decisão no meio agrícola.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Adubação. Heterogeneidade. Assertividade.

**Abstract:** This work addresses the use of precision agriculture as an alternative for soil management, focusing on the municipality of Constantina-RS, proposing the creation of precision maps using the ArcGis Windows 10.8 Platform, in order to display the fertility disharmony in certain points in an area and adjust the application of fertilizers to the permitted conditions of each agricultural area. The research was carried out during practical classes by agronomy students from the Federal University of Santa Maria – Campus Frederico Westphalen, where fertility and fertilization maps for phosphorus (P) and zinc (Zn) were created. The results showed significant variations in the distribution of these nutrients in the soil, showing the efficiency of variable rate fertilization compared to the conventional method. Variable rate application proved to be more effective, reducing production costs and enabling distributed distribution in the area. It is concluded that precision agriculture presents economic advantages for rural producers, being a crucial alternative for soil management, in addition to highlighting the importance of this technique for decision-making in the agricultural environment.

**Keywords:** Precision agriculture. Fertilizing. Heterogeneity. Assertiveness.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura convencional, voltada para a maximização de produtividade e eficiência em curto prazo, durante anos vem sendo a base da produção agrícola mundial. Entretanto, seu sistema caracterizado pelo uso intensivo de fertilizantes por meio de práticas padronizadas, causa prejuízos e enfrenta desafios significativos no que tange à sustentabilidade e custos de produção.

Em vista disso, a agricultura de precisão torna-se uma alternativa de gerenciamento agrícola mais otimizado através de tecnologias que contribuem para o melhor estudo das áreas, fornecendo informações detalhadas referente a heterogeneidade do solo. Entre suas aplicações, a principal é a adubação por taxa variável, a qual adapta as doses de fertilizantes de acordo com a variabilidade do solo e da cultura implantada na lavoura. Esse sistema utiliza sensores, mapas de produtividade e análises de solos para interpolação dos dados, possibilitando uma análise precisa da propriedade rural, com enfoque na distribuição específica de fertilizantes em cada porção da área agrícola, para que, o manejo venha a ser o mais assertivo possível.

Na iminência de estudo da aplicação da adubação por taxa variável, utilizou-se um espaço localizado no município de Constantina – Rio Grande do Sul (RS) que compreende 944,95 hectares (ha) de extensão. Para tanto, fez-se necessário o laudo de análise de solo da área e o uso de software para levantamento de dados e posterior criação de mapas de precisão. Este trabalho tem como aplicabilidade o aplicativo ArcGis, no qual foram criados dados sobre altimetria, declividade, níveis de nutrientes presentes e doses exatas de aplicação em cada ponto do campo, com intuito de auxiliar o produtor rural na tomada de decisão.

O objetivo geral deste trabalho é criar mapas de precisão para o município de Constantina – RS, analisando características físicas e químicas por meio da interpolação de dados da área, na intenção de aplicar a quantidade correta de nutrientes no local certo, assim, evitando escassez ou excesso. Também, objetiva-se com esse trabalho interpretar os mapas de fertilidade e de adubação e corrigir de forma localizada o solo em estudo.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da pesquisa**

O solo, camada mais superficial da crosta terrestre, é formado por matéria orgânica e minerais, componentes disponibilizados via intemperismo e decomposição de plantas e animais, além disso, é o principal meio para estabelecimento e crescimento de plantas, dado que fornece água e nutrientes para seu desenvolvimento, bem como, interfere diretamente na produção agrícola. Hodiernamente, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), existem treze ordens de solos no Brasil, definidas por suas características físicas, químicas e mineralógicas e por variações climáticas e de vegetação. No local de estudo, predominam as ordens: argissolo, neossolo e planossolo. Posto isso, vale destacar que conhecer a ordem de solo da região é fundamental para súpereo entendimento de sua atividade e de quais técnicas adotar.

Desde a Revolução Verde, observa-se anualmente a introdução de melhores condições nos processos produtivos, com o surgimento de inovações que favorecem o cotidiano e a eficácia da produção agrícola, almejando aumento de produtividade no mesmo pedaço de terra. Nessa visão, a agricultura de precisão é uma aliada para análise precisa da lavoura, de modo a monitorar os locais com maior e menor fertilidade pelo uso de sensores e mapas, levando em consideração a adição de insumos por particularidades e reais necessidades de aplicação em quantidades diferenciadas. Segundo Bassetto (2019), o princípio desse sistema é compreender a variabilidade do campo para gerenciar a produção de forma eficiente, ajustando a aplicação de insumos às necessidades específicas de cada área.

## **Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

Os fundamentos da agricultura de precisão vem do início do século XX, mas foi apenas na década de 1980, na Europa e nos EUA, que a técnica tornou-se viável para os produtores. No Brasil, ainda encontra-se em fase incipiente. Por meio de suas ferramentas é possível obter dados provenientes da exploração da propriedade subdividida em áreas pequenas, relativas a irrigação, atributos físicos do solo e necessidade de aplicação, pois quanto mais subdividida, mais útil será a informação georreferenciada (Lamparelli, 2022).

O manejo da fertilidade do solo encontra-se como um dos principais desafios dos produtores rurais, uma vez que as amostragens de solo, comumente, não fornecem informações homogêneas e representativas. Nesse viés, a agricultura de precisão é uma opção para se obter amostragem de forma homogênea e representativa, pelo uso da taxa variável que tem como enfoque analisar os pontos onde a fertilidade é mais elevada e onde é mais baixa, de acordo com o terreno. Ajusta o manejo às especificidades locais, aumentando a produtividade e a sustentabilidade do sistema agrícola (Fernandes, H. C., 2006), ademais, foca em partes da área em que a fertilidade está comprometida, realizando maior deposição de fertilizantes em contraste com as demais partes.

### **2.2 Área de Estudo e Público-alvo**

Este trabalho foi realizado em um espaço localizado no município de Constantina – Rio Grande do Sul (RS) que compreende 944,95 hectares (ha) de extensão. Todavia, a execução sucedeu-se no laboratório de informática da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Frederico Westphalen (UFSM – FW), com auxílio do Prof. Dr. Sandro Luciano Barreto Fensterseifer, no transcorrer da disciplina de Ajustamentos de Observações Geodésicas, ofertada para o curso de Agronomia. O estudo tem como público alvo os acadêmicos de agronomia, e para produtores rurais, que posteriormente serão apresentados os mapas.

### **2.3 Metodologia da pesquisa**

A pesquisa realizou-se durante as aulas práticas ministradas pelo Prof. Dr. Sandro Luciano Barreto Fensterseifer nas quintas-feiras a tarde, nas dependências do laboratório de informática da UFSM – FW. Na ocasião, utilizou-se notebook pessoal e os aplicativos: Plataforma do ArcGis Windows 10.8 e Google Earth.

Inicialmente, cada acadêmico precisou escolher uma área para fazer o trabalho, com a área escolhida, o próximo passo foi delimitá-la no aplicativo Google Earth para, na sequência, importar na Plataforma ArcGis, em outras palavras, o passo inicial foi: a) importação da área do projeto; b) extração da área do projeto, e; c) elaboração do plano de informação de declividade. O

### Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

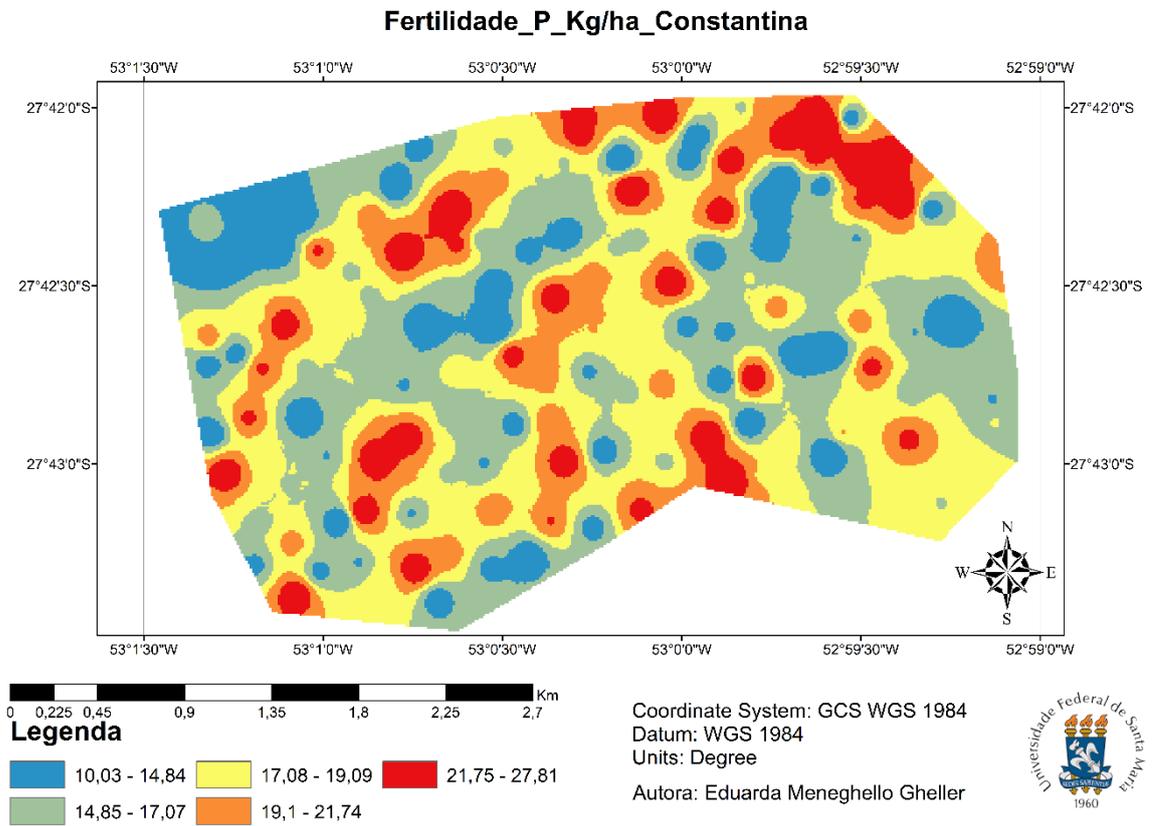
próximo passo consiste na determinação da resolução espacial da área do projeto pela elaboração dos seguintes subprojetos: a) altimetria de baixa resolução; b) altimetria de alta resolução; c) criação do PI da declividade em função da altimetria de alta resolução, e; d) elaboração do projeto de informação de curvas de nível. Feito isso, faz-se a inserção dos dados do solo para conseguir dar seguimento na criação dos layers, tal inserção foi feita com auxílio de um arquivo disponibilizado pelo Prof. Dr. Sandro Luciano Barreto Fensterseifer, que gera um layer de todo o Brasil, sendo necessário o decorrente recorte para ficar apenas nos limites do projeto.

A parte sequente abrange a inserção dos dados de hidrogeologia, para isso: a) introduz o recomendado de 150 pontos amostrais; b) escolhe três nutrientes presentes no laudo da análise de solo da região e cria a tabela para inserção dos valores destes nutrientes, para o trabalho em questão foram escolhidos: fósforo (P), potássio (K) e zinco (Zn), insere os valores dos três nutrientes em  $\text{mg}/\text{dm}^3$  e após isso é preciso criar três novas colunas, na mesma tabela, para transformar os valores em  $\text{mg}/\text{dm}^3$  para  $\text{kg}/\text{ha}$ , ainda na mesma tabela, cria três novas colunas que corresponderão a adubação de fósforo (P), potássio (K) e zinco (Zn), neste procedimento, leva em consideração a adubação para o cultivo de soja, sendo os teores recomendados para a região: P equivalente a 38  $\text{kg}/\text{ha}$ , K igual a 100  $\text{kg}/\text{ha}$  e Zn correspondente a 10  $\text{kg}/\text{ha}$ , a criação das colunas de adubação ocorre via fórmula matemática onde o teor recomendado para a região é subtraído pelo valor da coluna de fertilidade em  $\text{kg}/\text{ha}$ , respectivo para cada nutriente, ou seja: adubação P  $\text{kg}/\text{ha} = 38 - \text{fertilidade P } \text{kg}/\text{ha}$ , adubação K  $\text{kg}/\text{ha} = 100 - \text{fertilidade K } \text{kg}/\text{ha}$ , e adubação Zn  $\text{kg}/\text{ha} = 10 - \text{fertilidade Zn } \text{kg}/\text{ha}$ , atente que valores resultados em negativo devem ser alterados para valor 0, representando a não necessidade de adubação, tendo em vista isso, este trabalho não leva em conta o nutriente K na criação de mapas de fertilidade e adubação; c) correção do sistema de projeção, para isso, visualiza-se a resolução espacial do pixel, a qual resultou em 10,6663077 , 10,6663077 e multiplica um valor pelo outro, ocasionando o valor 113,77012; d) converte o valor 113,77012 para pontos e cria duas novas colunas para a aplicação em ha de P e Zn, utilizando a fórmula matemática: (área do pixel\*grid code)/hectare, ou seja  $(113,77012 * \text{grid code}) / 10.000$ .

Por fim, com todos os layers já finalizados, cria-se os mapas de precisão, que correspondem aos mapas de fertilidade e adubação de P e Zn, por conseguinte, tem-se os resultados da quantidade de adubação por hectare.

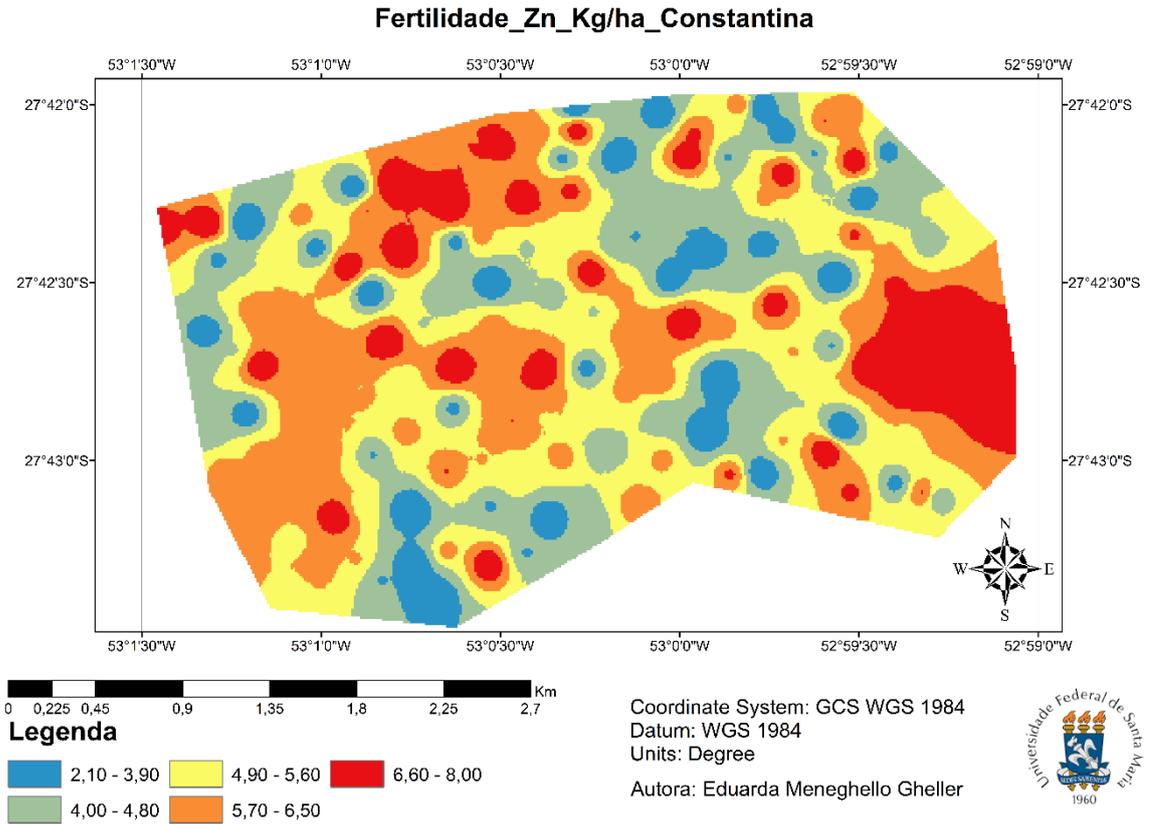
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 1 – Mapa de Fertilidade do fósforo (P) em kg/ha.



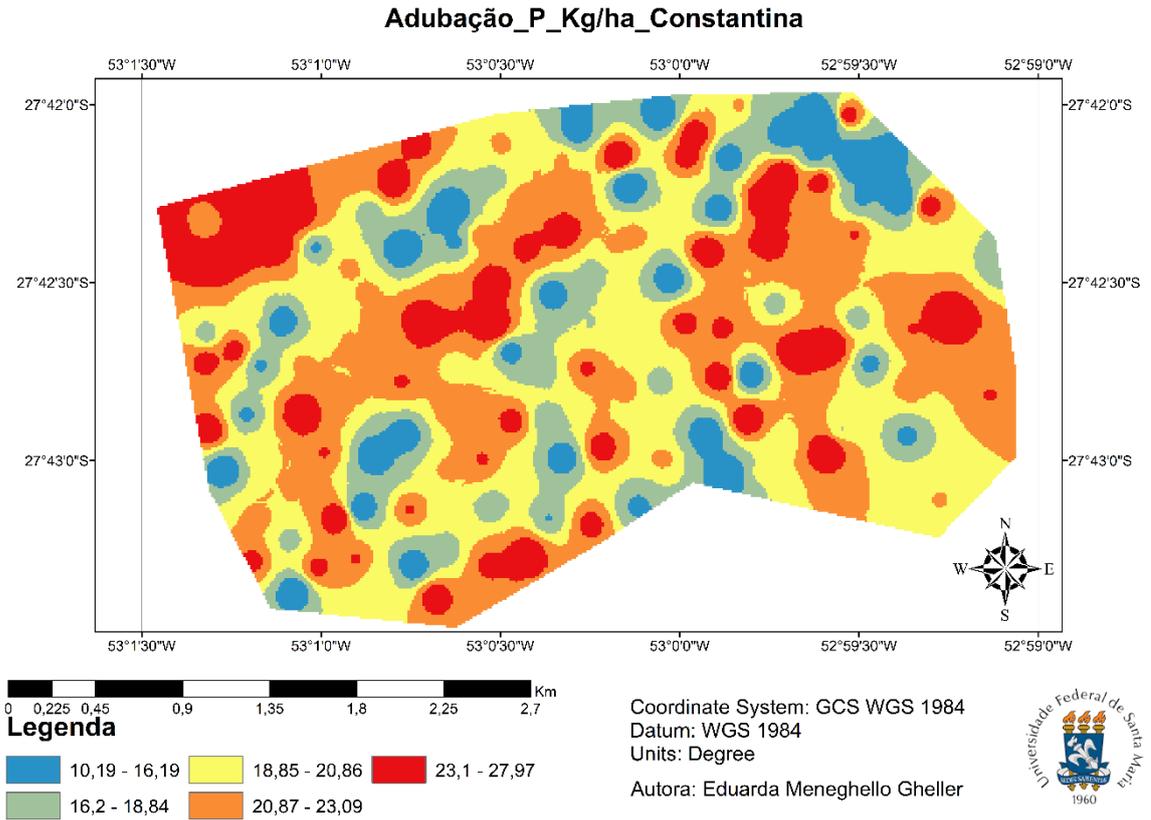
Fonte: GHELLER, M. E., 2024.

Figura 2 – Mapa de Fertilidade do zinco (Zn) em kg/ha.



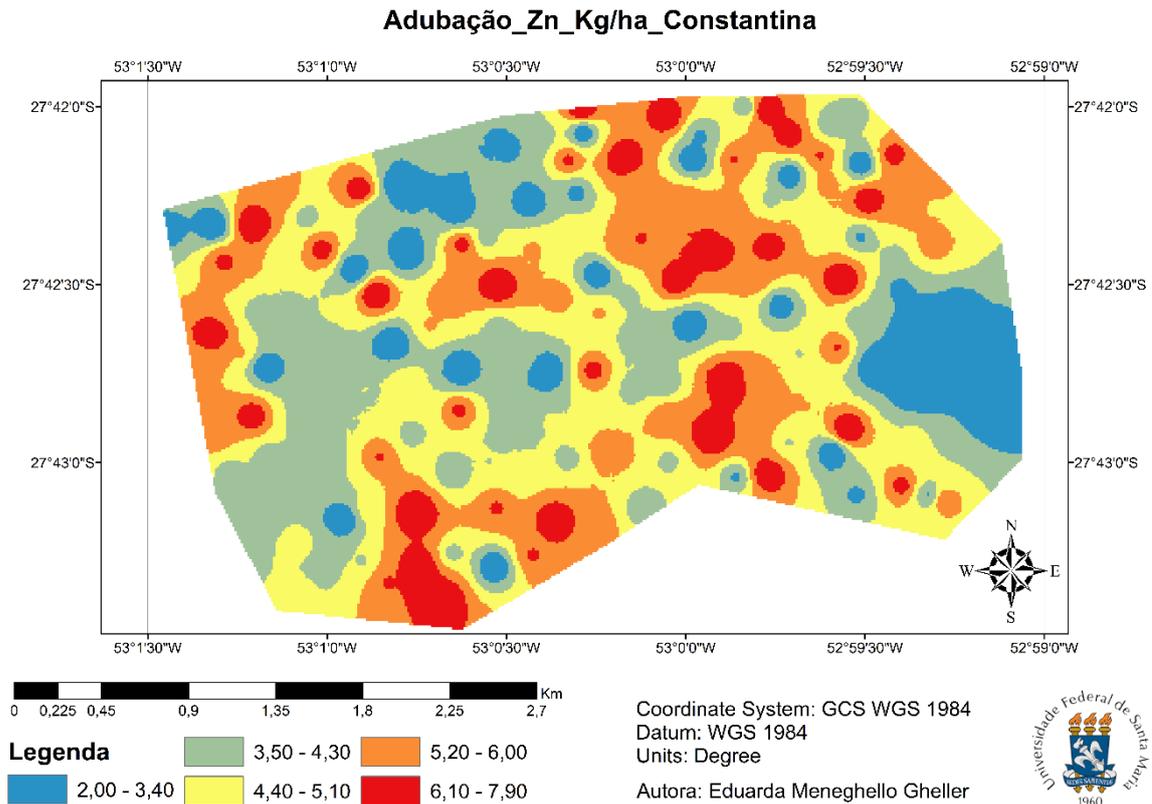
Fonte: GHELLER, M. E., 2024.

Figura 3 – Mapa de Adubação do fósforo (P) em kg/ha.



Fonte: GHELLER, M. E., 2024.

Figura 4 – Mapa de Adubação do zinco (Zn) em kg/ha.



Fonte: GHELLER, M. E., 2024.

O mapa de fertilidade do fósforo (P) (figura 1) retrata a disponibilidade deste nutriente em kg/ha ao longo da área em estudo, de modo que os pontos alaranjados e avermelhados representam excesso de fósforo, ao passo que a coloração azul mostra a deficiência do nutriente nos referidos pontos. O mapa de fertilidade do zinco (Zn) em kg/ha (figura 2) segue a mesma narrativa, em que a diferente coloração indica excesso ou deficiência do nutriente no ponto em destaque. O fósforo (P) apresenta alteração de 10,03 a 27,81 kg/ha em seus teores, mostrando uma distribuição heterogênea ao longo da área, do mesmo modo que o zinco (Zn) também apresenta distribuição heterogênea, variando de 2,10 a 8,00 kg/ha, isso evidencia o fato de que a fertilidade difere conforme os pontos, sendo mais elevada em alguns quando comparado a outros. Havendo deficiência de nutriente, faz-se inevitável a realização de adubação para correção.

Malavolta & Moraes, no capítulo 25 do *Livro CETEM 629*, mencionam o fato de que a fertilidade química é a mais limitante para a produtividade, dali dada a imprescindibilidade de uma adubação assertiva, atentando para as doses de fertilizantes a serem utilizadas, as quais dependem

## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

da distribuição dos nutrientes no campo, para assim, homogeneizar a disposição destes na área e obter uma produção significativa.

O mapa de adubação do fósforo (P) em kg/ha (figura 3), exhibe que a necessidade de adubação varia de 10,19 a 27,97 kg/ha, sendo a maior área com necessidade de adubação nos pontos entre 18,85 a 20,86, em comparação com os demais, e os pontos com maior deficiência entre 10,19 a 18,84, isso deve-se ao fato da disponibilidade do nutriente. Já, o mapa de adubação do zinco (Zn) (figura 4) variou de 2,00 a 7,90 kg/ha, possuindo vasta necessidade de adubação nos pontos entre 2,00 a 4,30, sendo também os mais carecidos. Examinando os mapas nota-se declínio da fertilidade em certos pontos, requerendo maior adição de fertilizantes nestes para equiparar com os demais.

Em área total, a recomendação de adubação para aplicação por taxa variável para fósforo (P) e zinco (Zn) correspondem, respectivamente, a: 17.169,348187 kg/ha e 3.929,967615 kg/ha. Salienta-se que tal recomendação baseia-se na fertilidade encontrada na área. A fim de comparativo, em área total, a recomendação de adubação para aplicação convencional para fósforo (P) e zinco (Zn), seria, respectivamente, de: 35.908,282590 kg/ha e 9.449,548050 kg/ha.

Tendo como base o valor de R\$150,00 para 50kg de superfosfato triplo (fertilizante contendo fósforo), em aplicação por taxa variável o custo de produção em área total corresponderia a R\$51.508,04456 e em aplicação convencional a R\$107.724,8478. Pensando em utilizar adubo contendo apenas o nutriente zinco em sua composição, tem-se como referência o adubo líquido zinco no valor de R\$849,00 para 20L, em aplicação por taxa variável o custo de produção em área total seria de R\$1.042.669,533 e em aplicação convencional de R\$2.507.083,217. Em virtude do exposto, constata-se que os custos de produção com agricultura de precisão são menores.

## 4 CONCLUSÃO

Diante dos fatos mencionados, enxerga-se que a agricultura de precisão realmente é uma técnica que leva em consideração a variabilidade do solo em estudo, permitindo análises de fertilidade dos amplos pontos dispostos pelo terreno que necessitam de adubação, ao contrário da agricultura convencional que fundamenta-se na aplicação uniforme, sem considerar as variáveis de fertilidade. Ademais, evidencia-se a redução dos custos de produção quando adotada agricultura de precisão.

Este trabalho propicia aos produtores rurais um entendimento claro e acessível da aplicabilidade da agricultura de precisão, a qual consiste no aumento da produtividade, diminuição de custos e uniformização da fertilidade. Desse modo, foi eficiente em detalhar os

## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

pontos onde existia maior necessidade de aplicação de fertilizantes no município de Constantina – RS e onde os nutrientes estavam mais escassos, informando a veracidade da heterogeneidade na fertilização.

Posto isso, o software ArcGis mostrou-se efetivo para a criação dos mapas de precisão e contribuiu significativamente para a compreensão da área e estudo do projeto pelos acadêmicos de agronomia da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Frederico Westphalen, bem como, evidenciou-se crucial para a tomada de decisão nas propriedades rurais.

## REFERÊNCIAS

Fertilizante adubo zinco líquido 20L. **Mercado Livre**. Disponível em:

[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4107272432-fertilizante-adubo-zinco-liquido-20-litros-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4107272432-fertilizante-adubo-zinco-liquido-20-litros-_JM). Acesso em: 15 de dez. de 2024

LAMPARELLI, C. A. Rubens. **Agricultura de precisão**. Embrapa, 2022. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 14 de dez. 2024

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. **Nutrição de plantas, fertilidade do solo, adubação e a economia brasileira**. In: *Livro CETEM 629*. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006.

MSRS. Solos Brasileiros. **UFSM.BR**. Disponível em: <https://www.ufsm.br/museus/msrs/solos-brasileiros>. Acesso em: 14 de dez. de 2024.

# CAPÍTULO 7

## ANÁLISE DA FERTILIDADE DO SOLO EM DOIS IRMÃOS DAS MISSÕES-RS: ELABORAÇÃO DE MAPAS DE ADUBAÇÃO POR TAXA VARIÁVEL PARA CULTIVO DA SOJA

ANALYSIS OF SOIL FERTILITY IN DOIS IRMÃOS DAS MISSÕES-RS: PREPARATION AND INTERPRETATION OF VARIABLE RATE FERTILIZATION MAPS

**Sandro Luciano Barreto Fensterseifer**   

Doutor em Engenharia Florestal, Docente do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Engenharia Florestal (UFSM), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Gabriela Campos da Silva de Oliveira**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Frederico Westphalen – RS, Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.872 

**Resumo:** O avanço das tecnologias permitiu que agricultura sofresse evoluções significativas, o uso de mecanismos de precisão proporcionou ao agricultor, maior previsibilidade para a tomada de decisões na correção de nutrientes do solo. O presente trabalho tem como objetivo a elaboração de mapas de adubação por taxa variável na região de Dois Irmãos das Missões, RS, especificamente na Linha Coxilha da Liberdade. O estudo foi realizado pelo levantamento de informações geográficas e dados da concentração de nutrientes Fósforo e Potássio do solo, para o cultivo da soja, abrangendo uma área de 1.427 hectares. Utilizando tecnologias geoespaciais, como Google Earth e o software ArcGIS, foram gerados mapas detalhados sobre geomorfologia e fertilidade do solo e recomendação de adubação do mesmo. Os dados foram coletados e interpretados. A análise dos mapas revelou uma diversidade na fertilidade dos solos, destacando a importância da aplicação precisa de fertilizantes para otimizar a produtividade agrícola.

**Palavras-chave:** Georreferenciamento. Tecnologias geoespaciais. Agricultura de precisão.

**Abstract:** The advancement of technologies has enabled significant evolution in agriculture, with precision mechanisms providing farmers with greater predictability for decision-making in soil nutrient correction. This study aims to develop variable rate fertilization maps for the region of Dois Irmãos das Missões, RS, specifically in Linha Coxilha da Liberdade. The study was conducted through the collection of geographic information and data on soil phosphorus and potassium concentrations, for the studying to soy, covering an area of 1.427 hectares. Utilizing geospatial technologies such as Google Earth and ArcGIS software, detailed maps of soil geomorphology, fertility, and fertilization recommendations were generated. The data were collected and interpreted, revealing a diversity in soil fertility and highlighting the importance of precise fertilizer application to optimize agricultural productivity.

**Keywords:** Georeferencing. Geospatial Technologies. Precision Agriculture.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios com as representações rupestres até as tecnologias de ponta como o georreferenciamento, a elaboração de mapas temáticos evoluiu consideravelmente. Ao longo da história, o mapeamento tem sido essencial para a compreensão e a admiração de diferentes aspectos geográficos. Atualmente, ele se tornou uma ferramenta indispensável para a análise e a interpretação de dados específicos de um território, refletindo a contínua inovação nas metodologias de representação espacial.

A fertilidade do solo é um fator fundamental para a agricultura, influenciando diretamente a produtividade e sustentabilidade dos cultivos. A precisão na identificação de áreas férteis ou deficientes em nutrientes é essencial para otimizar o uso de recursos, reduzir custos e minimizar impactos ambientais (Ronquin, 2010). Neste contexto, a criação de mapas de adubação por taxa variável relacionados à fertilidade do solo surge como uma solução eficaz para auxiliar na tomada de decisões.

O município de Dois Irmãos das Missões, RS, Linha Coxilha da Liberdade, possuindo sua economia baseada na agricultura, seria beneficiado positivamente com a disponibilidade de informações precisas sobre a fertilidade do solo. Este relatório visa contribuir para essa

necessidade, apresentando uma abordagem para o mapeamento da fertilidade do solo na região em função dos nutrientes fósforo (P) e potássio (K).

Os nutrientes P e K são importantes para o desenvolvimento das plantas. O fósforo é um macronutriente vital para as atividades fotossintéticas, desempenhando funções importantes no armazenamento e na transferência de energia. O potássio, por sua vez, é outro macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, além de também ser importante no processo de fotossíntese. A deficiência destes nutrientes no solo pode resultar em danos ao desenvolvimento e prejuízos na produtividade (Finkler *et al.*, 2018).

A utilização de tecnologias geoespaciais, como o georreferenciamento e softwares de geoprocessamento, como o ArcGIS, possibilitou a elaboração de mapas precisos e detalhados. Esta abordagem permitirá aos agricultores, gestores e pesquisadores uma melhor compreensão da fertilidade do solo, subsidiando decisões para o correto manejo dos recursos.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais de pesquisa**

Como material de pesquisa, utilizamos aplicativos computacionais e equipamentos, onde os dados foram importados em um Notebook Asus, modelo E510M, Dual Core, Intel Celeron, com memória de 4 gigabytes (GB) de memória e 128 GB de armazenamento, com sistema operacional Windows 11.

A plataforma utilizada para determinar a área do presente trabalho foi o Google Earth, acrescida do software ArcGIS para desenvolvimento dos mapas de fertilidade e adubação de fósforo (P) e potássio (K).

### **2.2 Caracterização da pesquisa**

A pesquisa realizada neste tipo de estudo é de natureza observacional, focada na aplicação de uma metodologia de adubação por taxa variável e análise dos dados geoespaciais. Os dados foram coletados através do levantamento de campo e bibliografias pertinentes como o manual de adubação e calagem e geoespacial, em seguida, passaram por análise e interpretação, para geração dos mapas de fertilidade do solo.

### **2.3 Área de estudo e Público-alvo**

A área do projeto e o local da pesquisa estão delimitados no município de Dois Irmãos das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil, abrangendo um total de 1.427 hectares, de Latitude: 27° 39' 16" Sul, Longitude: 53° 31' 47" Oeste, com 501 metros de altitude. O tipo de solo do estudo

## **Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

corresponde ao Latossolo Vermelho Distroférico. O público-alvo são estudantes e pesquisadores interessados em atividade de pesquisa, bem como agricultores que buscam informações científicas sobre manejo do solo.

### **2.4 Metodologia da pesquisa**

#### **2.4.1 Delimitação da área e desenvolvimento dos mapas de taxas variáveis**

A criação dos mapas se iniciou através da delimitação da área utilizando o servidor de imagens do Google Earth, onde foi possível obter os limites do local de estudo. Após, procedeu-se para a importação dos dados para o software ArcGIS, com a geração do mapa de ponto de controle e declividade, procedendo para a obtenção de mapas com diferentes taxas de fertilidade de fósforo (P) e potássio (K).

Como produto dos mapas de fertilidade de P e K, foram gerados dois novos mapas de taxas variáveis, desta vez, voltados para a adubação da área de estudo, com intuito de agregar informações e fornecer respaldo científico para a aplicação de nutrientes (P e K) com precisão no local.

#### **2.4.2 Inserção de pontos amostrais e densificação**

Os pontos amostrais são pontos de coleta de dados gerados dentro do limite da área utilizada para o estudo, a base de dados das informações é elaborada e construída com base nestes pontos.

Foram coletadas amostras de solo, para em seguida, obter os dados de fertilidade de fósforo (P) e potássio (K). Os dados foram inseridos de forma manual e georreferenciados em um banco de dados correspondente a área de 1.427 hectares. O total de pontos amostrais foi de 150 pontos, gerados pelo software ArcGIS, assim, os pontos amostrais foram interpolados para preencher os espaços vazios e eliminar pontos que não pertencem a área do projeto. Após a inserção dos pontos utilizou-se um algoritmo de interpolação IDW (Interpolação pelo Inverso das Distâncias) o mesmo realizou a densificação dos pontos amostrais gerando-se 450 pontos.

#### **2.4.3 Raster imagem (mapa de fertilidade)**

A elaboração do mapa de fertilidade em função da metodologia de taxa variável para P e K levou em consideração a inserção dos seguintes elementos: Título, legenda, escala, orientação grade de coordenadas.

#### 2.4.4 Comparação de dados de adubação por taxa variável e método convencional

Através dos pontos amostrais, foi determinada a recomendação de correções dos nutrientes (P e K) no solo em  $\text{kg ha}^{-1}$ , gerando um quadro da quantidade necessária para correção em função dos pixels do mapa da área obtendo valores precisos dos nutrientes a serem incorporados ao solo. A quantidade de pixels totalizou o valor de 50771. Realizaram-se os mesmos cálculos de adubação no modelo convencional, onde a distribuição do fertilizante se daria de forma homogênea em toda a área, a critério de comparação.

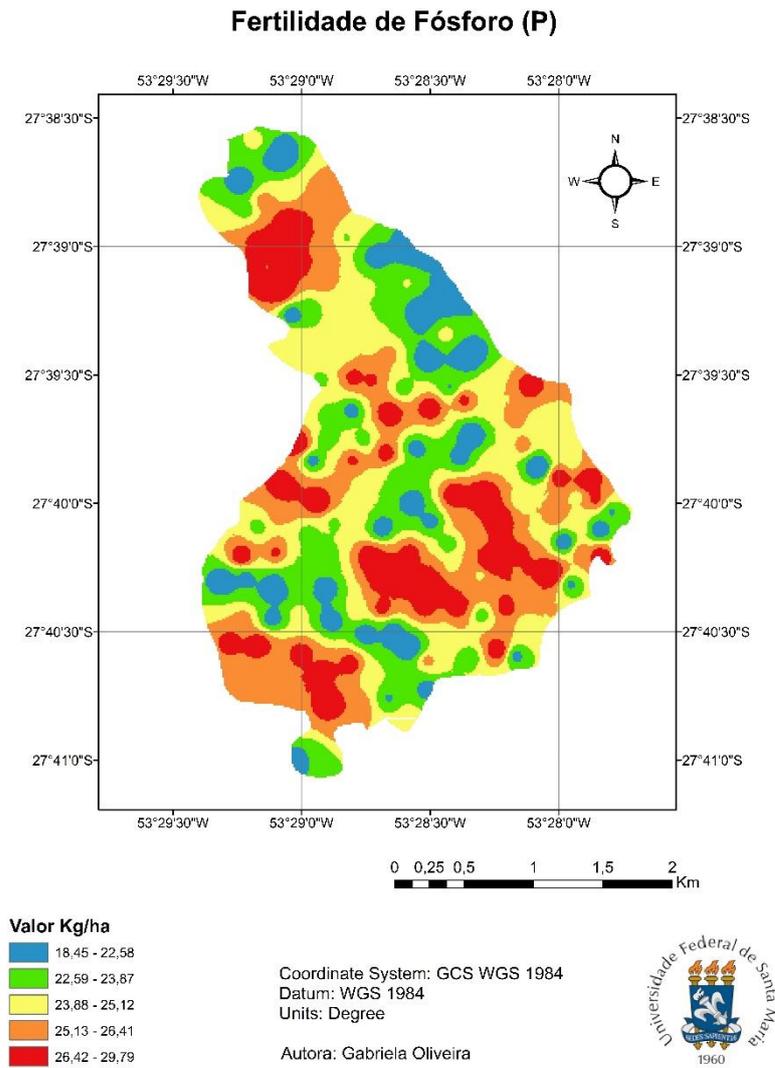
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obtenção dos mapas e a identificação dos pontos de concentração dos nutrientes Fósforo e Potássio mostraram-se variada em diversos pontos da área de estudo. Os mapas de fertilidade estes apresentam diferentes concentrações de nutrientes, onde os níveis mais baixos de P e K se encontram nos valores  $18,45 \text{ kg ha}^{-1}$  para P e  $90,57 \text{ kg ha}^{-1}$  para K na cor azul, já os níveis com excesso, nos valores de  $26,42 \text{ kg ha}^{-1}$  para P e  $190,8 \text{ kg ha}^{-1}$  para K na cor vermelho. O mapa de ponto de controle e declividade, cuja importância reflete no planejamento de controle e prevenção de perdas de nutrientes do solo. A interpretação da área de estudo, fornece dados benéficos para o manejo eficiente, principalmente quando executado por máquinas agrícolas de precisão.

De acordo com Ronquin (2010), a precisão na identificação de áreas férteis ou deficientes em nutrientes é essencial para melhorar o uso de recursos, reduzir os custos e minimizar os impactos ambientais. Neste trabalho os mapas de fertilidade que foram gerados trazem uma análise que mostra a variabilidade na concentração de nutrientes, evidenciando a precisão de correção destes em regiões distintas, não sendo necessária uma correção em área total, minimizando custos e otimizando assim a aplicação dos nutrientes P e K. Todo processo visa a manutenção ou a recuperação da sua produtividade, e com o uso de geotecnologias, pode-se determinar as áreas de deficiência nutricional do solo e aplicar de forma precisa a correção indicada de acordo com os levantamentos de dados.

A Figura 1 apresenta o mapa de fertilidade de fósforo (P) em  $\text{kg ha}^{-1}$ , mostrando variabilidade na concentração desse nutriente no solo. A distribuição se encontra de forma heterogênea na área de estudo.

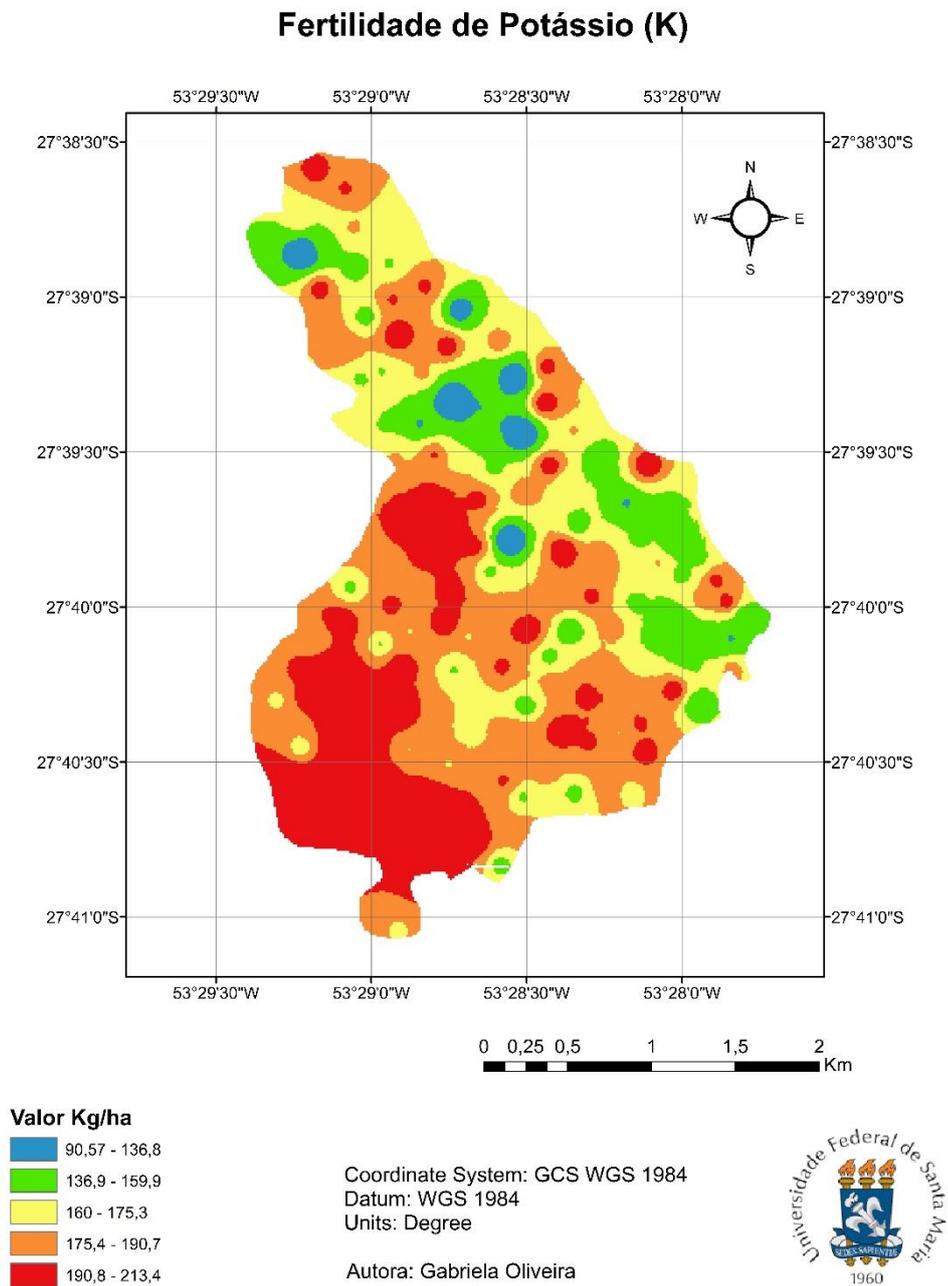
Figura 1 – Fertilidade de fósforo (P).



Fonte: Elaboração própria. OLIVEIRA, G. C. S. (2024).

A Figura 2 apresenta o mapa de fertilidade de potássio (K) em kg ha<sup>-1</sup>, nota-se uma variabilidade na concentração desse nutriente no solo, também com características heterogêneas.

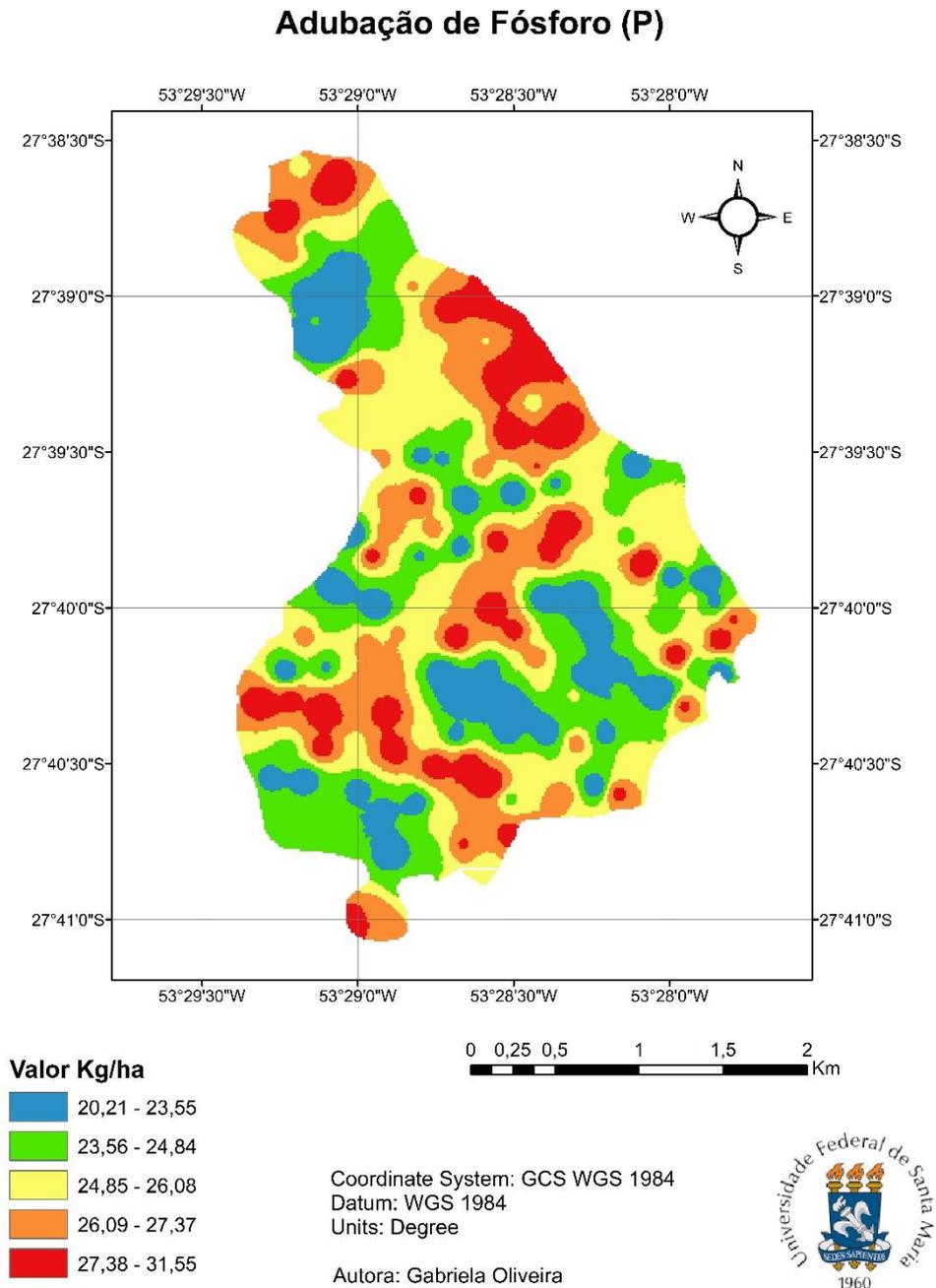
Figura 2 – Fertilidade de potássio (K).



Fonte: Elaboração própria. OLIVEIRA, G. C. S. (2024).

A Figura 3 apresenta o mapa de adubação de fósforo em kg ha<sup>-1</sup>, nota-se uma variabilidade na concentração desse nutriente no solo e a necessidade de correção em regiões distintas para o plantio da soja, justificando a necessidade de correção do nutriente forma heterogênea.

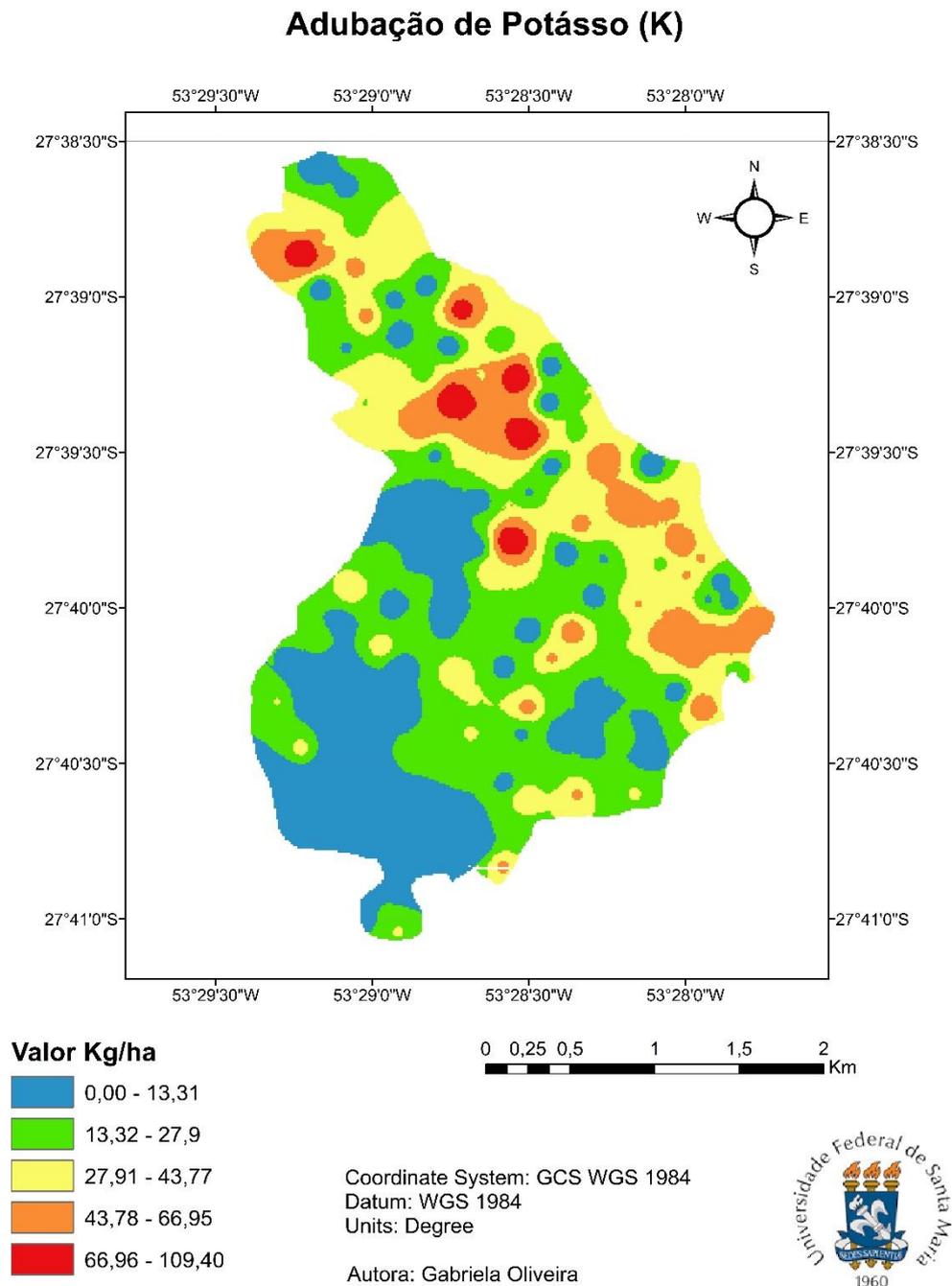
Figura 3 – Adubação de fósforo (P).



**Fonte:** Elaboração própria. OLIVEIRA, G. C. S. (2024).

A Figura 4 apresenta o mapa de adubação de potássio em  $\text{kg ha}^{-1}$ , nota-se uma variabilidade na concentração desse nutriente no solo, e assim como o nutriente P, há respaldo técnico e científico para a realização da correção das deficiências na área.

Figura 4 – Adubação de potássio (K).



**Fonte:** Elaboração própria. OLIVEIRA, G. C. S. (2024).

A Tabela 1 representa uma pequena amostra da recomendação de correção dos nutrientes (P e K) no solo, para o plantio da soja, enfatizando a efetividade do uso da aplicação por taxa variável. A representação reduzida se dá ao fato de existirem 50771 pixels na imagem da área, onde cada pixel representa uma unidade de referência na aplicação do nutriente, podendo esta ser importada em máquinas agrícolas de precisão no momento da adubação para correção do solo.



## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

de fertilizantes para cada área do campo, melhor eficiência dos recursos, diminuindo o desperdício de material e mitigação dos impactos ambientais associados à superdosagem. Como resultado, o aumento da produtividade é refletido em um rendimento maior da produção agrícola (Pereira; Duran, 2019).

### 4 CONCLUSÃO

O estudo na região de Dois Irmãos das Missões, RS, utilizou tecnologias geoespaciais para criar mapas de adubação por taxa variável, podendo-se concluir variações na concentração de Fósforo e Potássio no solo. A aplicação precisa de fertilizantes é uma estratégia essencial para otimizar a produtividade e garantir a sustentabilidade dos recursos. A abordagem de taxa variável se mostra com maior eficiência no uso de fertilizantes, visto que a redução dos impactos ambientais e aumento da produtividade são consequências de tal prática. Portanto, destaca-se a evolução significativa da agricultura de precisão e mecanismos de georreferenciamento, interpretação de dados e em como eles se aplicam de forma prática.

### REFERÊNCIAS

FINKLER, R.; PEDROSO, R. M.; STEIN, R. T.; e outros. **Ciências do solo e fertilidade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book. pág.204. ISBN 9788595028135. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595028135/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

LAMPARELLI, R. A. C. Embrapa. **Agricultura de precisão**. 2022. Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 12 dez. 2024.

PEREIRA, B. F.; DURAN, J. E. (2019). **Aplicação de insumos a taxa variável**. **Anais do fórum de iniciação científica do Unifunec**. Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/forum/article/view/4326>. Acesso em: 12 dez. 2024.

RIBEIRO, H. S. **Avaliação da fertilidade do solo e incremento da produtividade com o uso da agricultura de precisão**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1623>. Acesso em 12 dez. 2024.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

# CAPÍTULO 8

## APLICAÇÃO EM TAXA VARIÁVEL PARA MANEJO SUSTENTÁVEL NA CULTURA DA SOJA NO SUL DO BRASIL

VARIABLE RATE APPLICATION FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT IN SOYBEAN  
CULTURE IN SOUTHERN BRAZIL

**Caroline Szorek**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-FW), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Alessandra Giovana Bonazza**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-FW), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Cássia Aparecida Argenta Dalpicio**   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-FW), Frederico Westphalen – RS, Brasil

**Sandro Luciano Barreto Fensterseifer**   

Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Docente da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-FW), Departamento de Engenharia Florestal, Frederico Westphalen – RS, Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.873 

**Resumo:** O seguinte estudo teve como objetivo justificar o uso de adubação por taxa variável, mostrando benefícios adquiridos por tal técnica principalmente no quesito ambiental. Dessa maneira, foi realizado a criação de mapas de fertilidade e adubação para a cultura da soja (*Glycine Max*), no aplicativo ArcGIS, em uma área de cultivos agrícolas de 2.345,75 hectares no município de Seberi-RS, com dados fictícios de fósforo (P), potássio (K) e zinco (Zn), porém dentro da realidade do local. Assim, é possível perceber a redução significativa da quantidade fertilizantes se compararmos a uma aplicação convencional, em que, aplicamos a mesma quantidade em toda a área sem considerar a heterogeneidade de nutrientes presentes em um solo agrícola. Portanto, com uma aplicação de somente o necessário estaremos contribuindo com um manejo mais sustentável do solo, evitando os níveis de contaminação de mananciais de água e emissões de gases de efeito estufa produzidos em toda a cadeia de produção de fertilizantes, e por fim, aumentando a produtividade.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Fertilidade do solo. Impactos ambientais.

**Abstract:** The following study aimed to justify the use of variable rate fertilization, showing benefits acquired by this technique mainly in environmental terms. In this way, fertility and fertilization maps were created for soybean crops (*Glycine Max*), in the ArcGIS application, in an agricultural crop area of 2,345.75 hectares in the municipality of Seberi-RS, with fictitious phosphorus data (P), potassium (K) and zinc (Zn), but within the local reality. Thus, it is possible to notice a significant reduction in the amount of fertilizers if we compare it to a conventional application, in which we would apply the same amount throughout the area without considering the heterogeneity of nutrients present in an agricultural soil. Therefore, with an application of only what is necessary we will be contributing to more sustainable soil management, avoiding the levels of contamination of water sources and greenhouse gas emissions produced throughout the fertilizer production chain, and, finally, increasing productivity.

**Keywords:** Precision agriculture. Soil fertility. Environmental impacts.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine Max*) exerce extrema importância no cenário nacional, sendo o grão o cultivo agrícola de maior produção no país, de acordo com dados de 2023 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) toda essa produção coloca o Brasil como maior produtor e exportador mundial da cultura, firmando sua relevância social e econômica em nível nacional.

Tendo em vista a expressividade que a cultura contém, é imprescindível a busca para a melhoria de produtividade conciliada com o custo-benefício, favorecendo os produtores. Nessa ótica, a modernização do meio tem se mostrado eficiente com o uso da agricultura de precisão, trazendo-nos otimização de insumos e ganhos em produção (Peng; Hu, 2012).

Um dos principais fundamentos da agricultura de precisão é o uso de taxa variável, que se utiliza de mapeamento de fertilidade de solo para a aplicação exata dos nutrientes em zonas de manejo (Borgelt *et al.*, 1994). Assim, criando uma área homogênea em produção, otimizando o manejo com o uso eficiente dos fertilizantes, além de contribuir para a segurança alimentar e diminuir os impactos ambientais causados pelo excesso de fertilizantes minerais (Reetz Jr, 2017).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é, por meio da criação de mapas de fertilidade e adubação, demonstrar de forma prática os benefícios econômicos e ambientais proporcionados pela aplicação de fertilizantes utilizando a técnica de taxa variável na cultura da soja.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da pesquisa**

A pesquisa teve como base mapas de adubação e fertilidade criados durante a disciplina de Ajustamento de Observações Geodésicas do curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen. Os mapas gerados abrangem áreas de cultivo agrícola do município de Seberi, Rio Grande do Sul, localizado na coordenada geográfica 27°33'07.77"S, 53°23'10.91"O, totalizando 2.345,75 hectares.

Para a criação dos mapas de fertilidade e adubação foram utilizados os macronutrientes fósforo (P) e potássio (K) e o micronutriente zinco (Zn). Os valores dos nutrientes utilizados foram expressos em miligrama por decímetro cúbico ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), empregados para a criação dos mapas de fertilidade do solo e posteriormente de adubação, esses dados foram fictícios, porém dentro da realidade da região abrangida. Assim, servindo como base para a criação de mapas para a adubação em taxa variável o mais condizentes possíveis com a realidade.

### **2.2 Metodologia da pesquisa**

Para a realização da criação dos mapas de adubação por taxa variável, utilizamos o programa ArcGIS na sua versão 10.8 instalado em um MacBook air processador M1 com 8 GB de memória RAM e 256 GB de armazenamento, utilizando a ferramenta ArcMap onde foram feitos a maioria dos processos com exceção da criação do limite da área que foi realizado no aplicativo Google Earth.

Inicialmente, foi adicionado ao ArcMap o limite da área de estudo, previamente definido e exportado do Google Earth, servindo como base para todas as análises subsequentes. Em seguida, foram criados mapas de altimetria e solo da região. A altimetria teve uma variação de 393 metros a 571 metros, o tipo de solo da área é um Latossolo Vermelho Distroférico, a partir dos dados altimétricos foi criado o mapa de curvas de nível. Todas essas informações permitiram um melhor entendimento do local para uma recomendação mais precisa.

Com base nesse conjunto de informações, foi criado um mapa de pontos, onde foram adicionados os valores simulados de concentração de nutrientes (P, K e Zn) em  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Esses valores foram transformados em quilogramas por hectare ( $\text{kg}/\text{ha}$ ), permitindo a padronização das informações para o cálculo da recomendação de adubação. Para cada ponto, realizamos uma

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

recomendação com base em quantidade pré-definidas que foram de 110 kg/ha de fósforo, 220 kg/ha de potássio e 40 kg/ha de zinco, a partir dessa recomendação subtraímos do valor em kg/ha já presente no solo, e assim, chegamos na quantidade a ser aplicada em cada ponto. Para a criação dos mapas de fertilidade e adubação realizamos tal a partir da ferramenta de interpolação, em que, pegamos os dados dos pontos e com o IDW (Ponderação de distância inversa) presente no ArcMap, realizamos esse processo resultando em mapas com cinco níveis de variação de fertilidade e adubação. Por fim, realizamos a análise estatística de cada mapa de adubação chegando ao valor final de aplicação de cada nutriente.

**3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

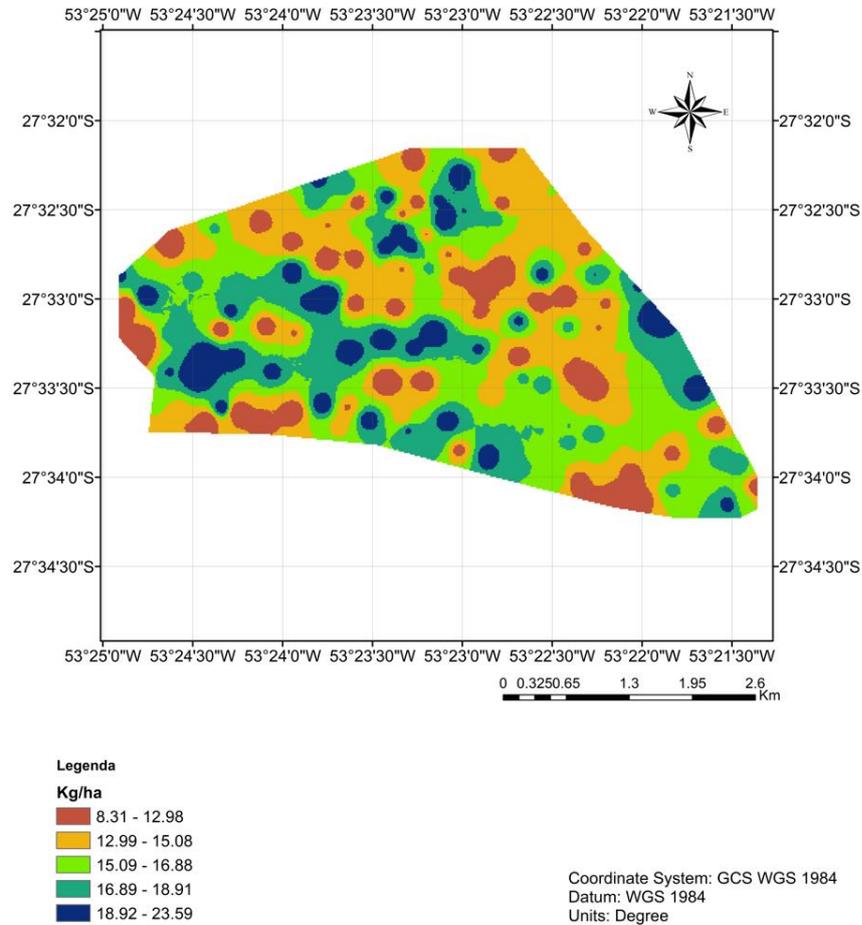
Dessa forma, obtemos os mapas de fertilidade do solo (Figuras 1, 2 e 3) e os mapas de adubação (Figuras 4, 5 e 6). A partir das análises, chegamos ao valor final de aplicação nos 2.345,75 ha de:

- Fósforo: 141.909,68 quilogramas;
- Potássio: 92.149,85 quilogramas;
- Zinco: 39.131,74 quilogramas.

Figura 1 – Mapa de fertilidade de fósforo.



## Mapa de Quantidade de Fósforo no solo em Kg/ha

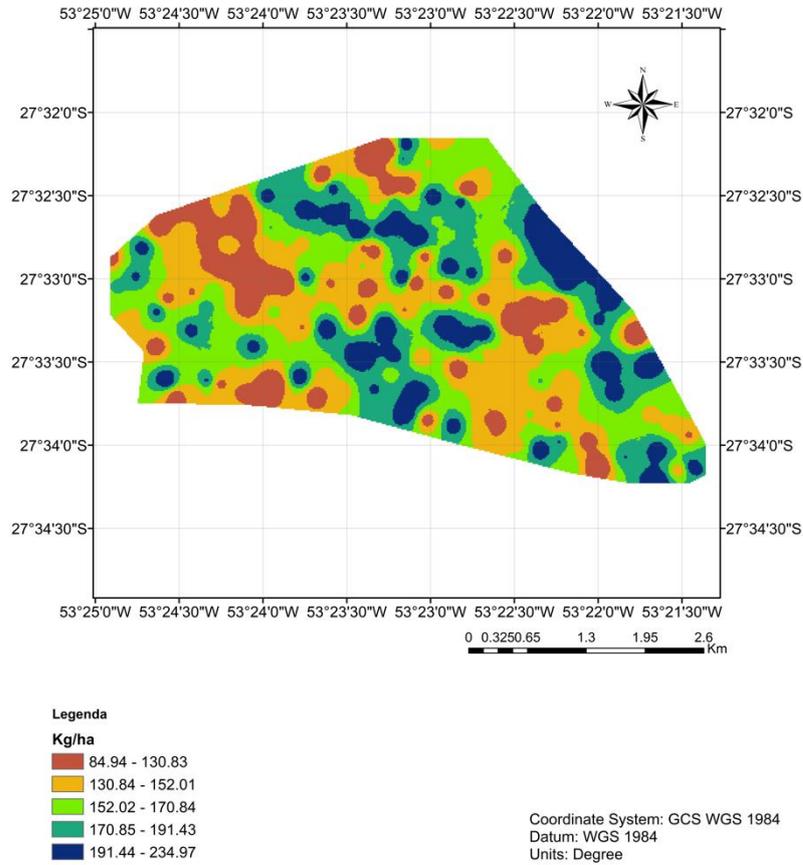


Fonte: Autores, 2024.

Figura 2 – Mapa de fertilidade de potássio.



Mapa de Quantidade de Potássio no solo em Kg/ha

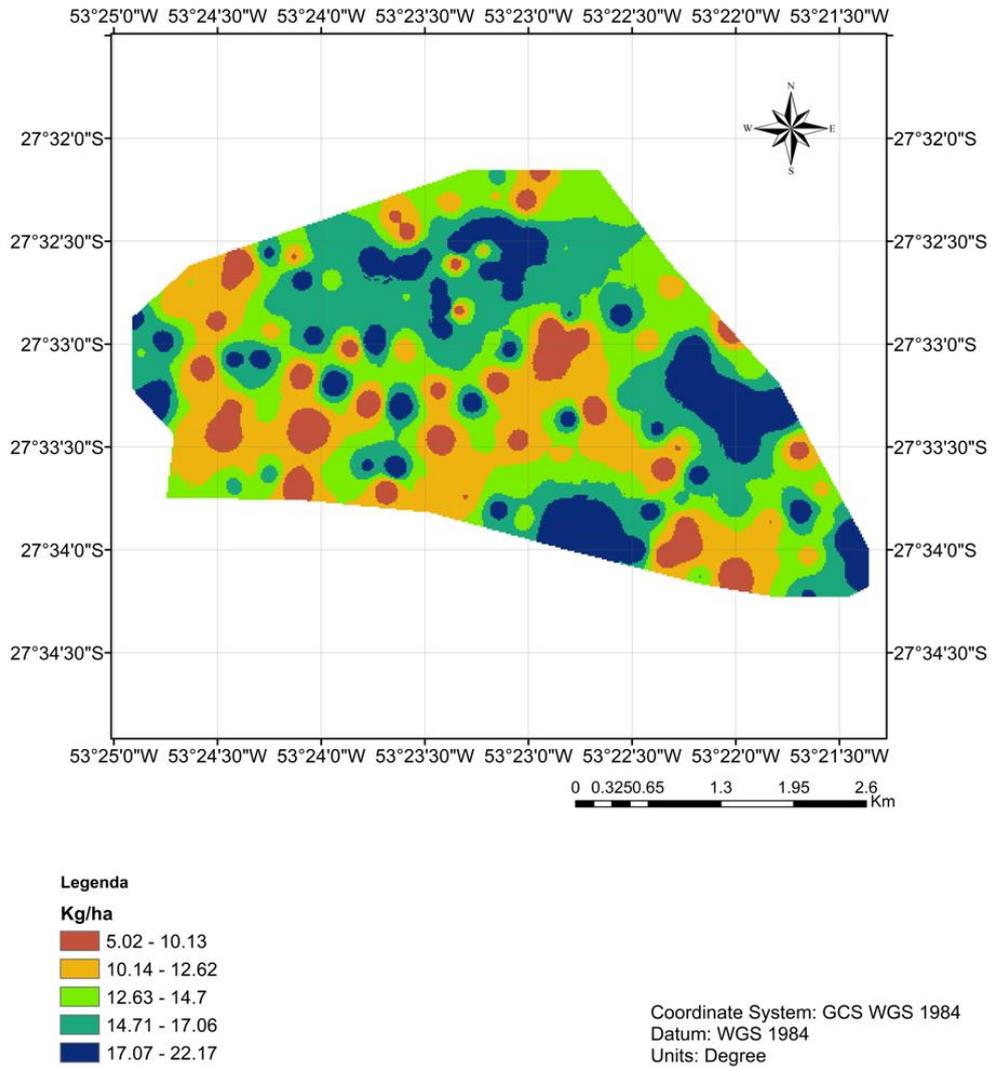


Fonte: Autores, 2024.

Figura 3 – Mapa de fertilidade de zinco.



Mapa de Quantidade de Zinco no solo em Kg/ha

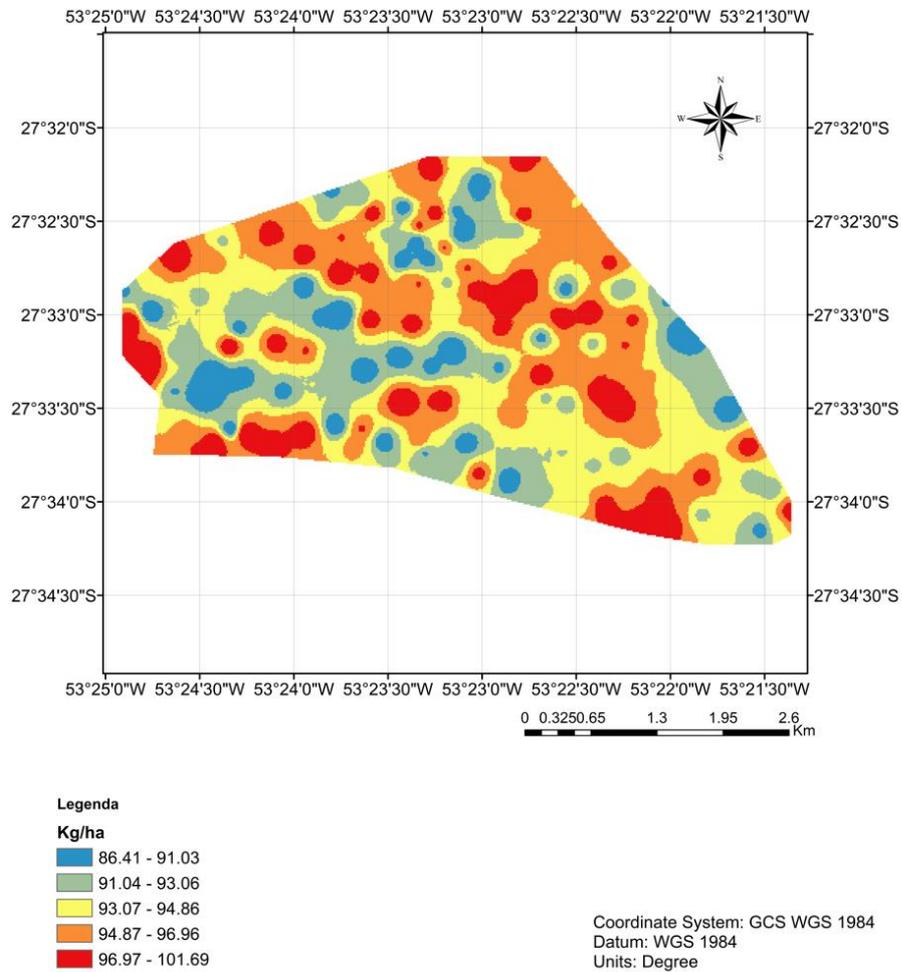


Fonte: Autores, 2024.

Figura 4 – Mapa de aplicação em taxa variável de fósforo.

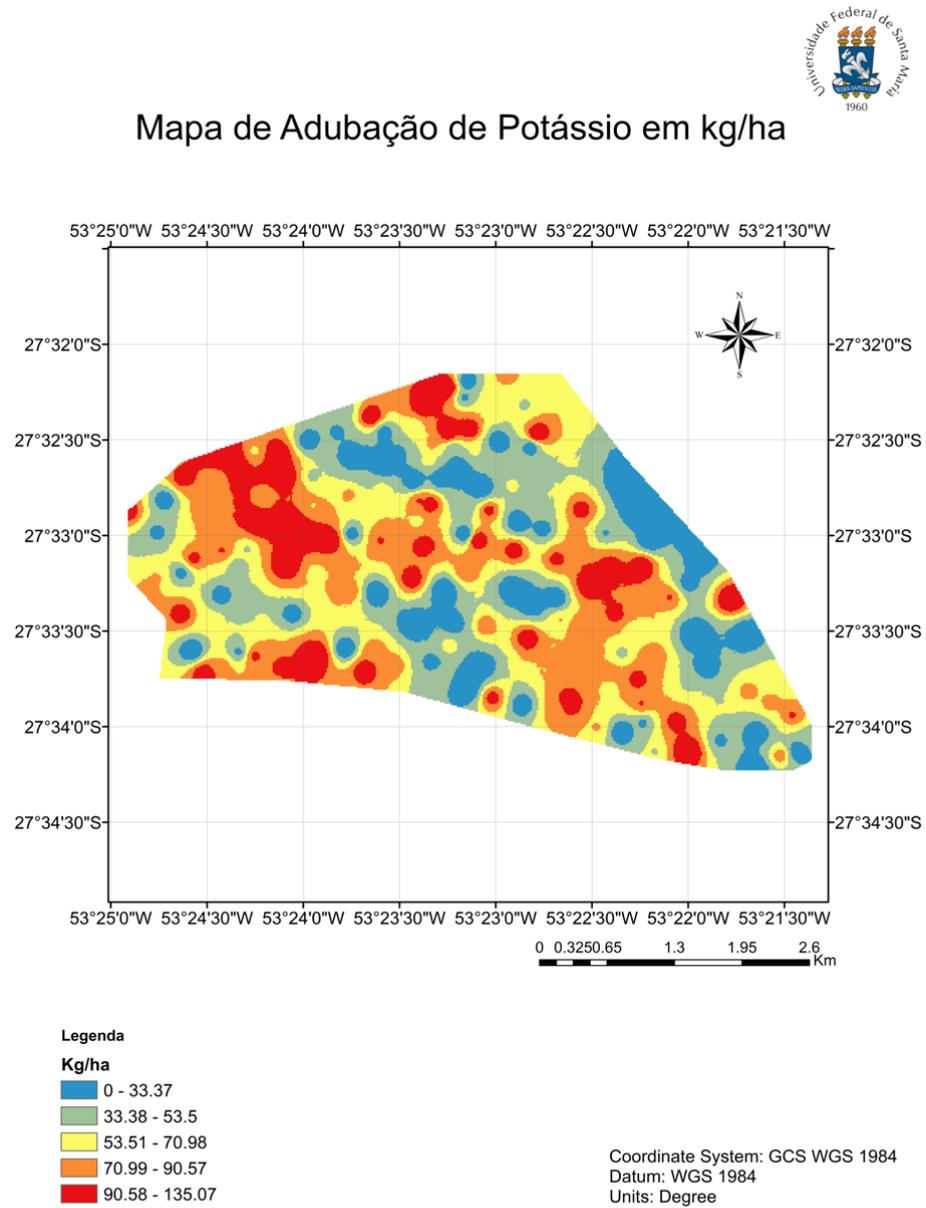


Mapa de Adubação de Fósforo em kg/ha



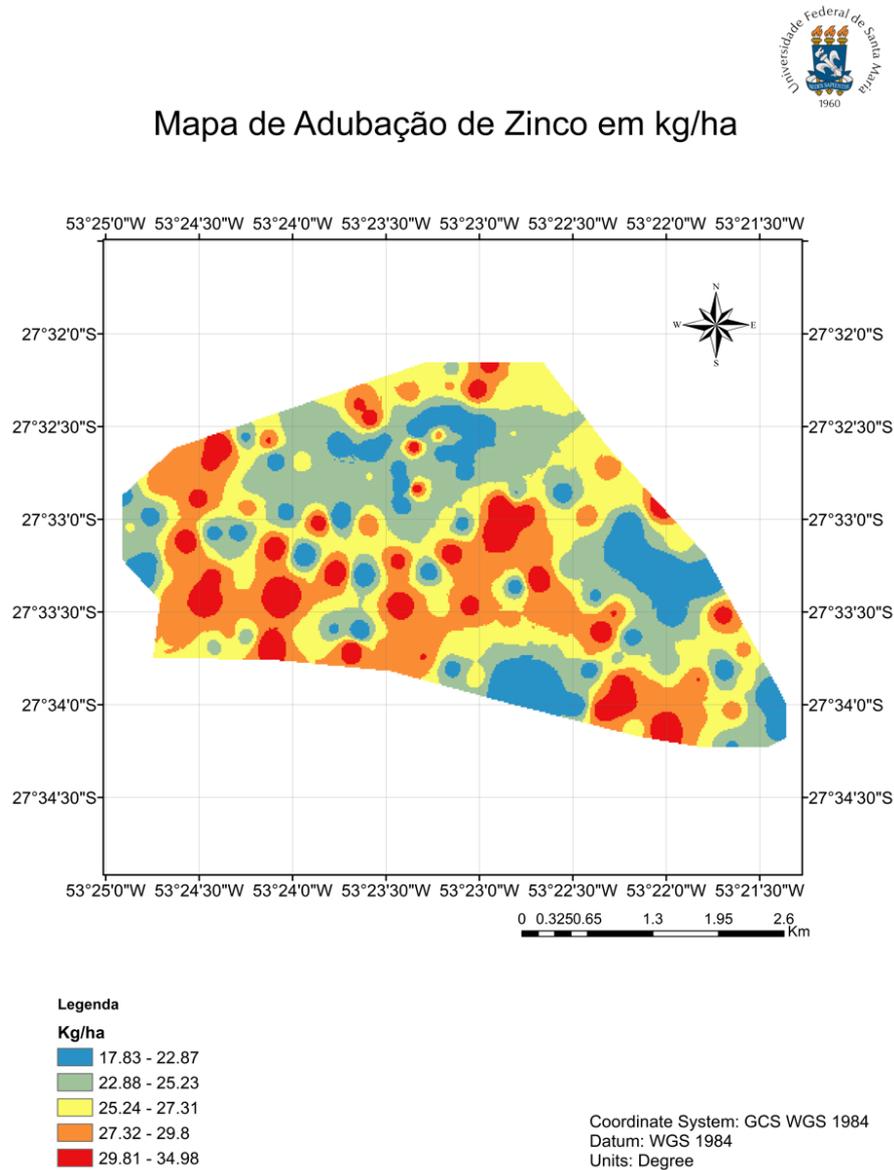
Fonte: Autores, 2024.

Figura 5 – Mapa de aplicação em taxa variável de potássio.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 6 – Mapa de aplicação em taxa variável de zinco.



Fonte: Autores, 2024.

Realizando uma breve análise, considerando que aplicamos as recomendações de 110 kg/ha de fósforo, 220 kg/ha de potássio e 40 kg/ha de zinco de forma uniforme nos 2.345,75 ha, chegamos a um valor final de:

- Fósforo: 258.032,50 quilogramas;
- Potássio: 516.065,00 quilogramas;
- Zinco: 93.830,00 quilogramas.

Assim, percebemos de forma objetiva a diferença da quantidade aplicada em taxa variável em relação a uma aplicação convencional. A adoção da prática além de contribuir

## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

economicamente devido à redução nas quantidades aplicadas, também traz homogeneidade na área e ganhos de produtividade como mostram estudos de Werner (2007) e Fiorin *et al.* (2011).

Dessa forma, além de estarmos contribuindo de forma econômica e de produtividade, estaremos evitando o uso excessivo de fertilizantes, segundo dados do Banco Mundial (2023) o Brasil foi o segundo maior consumidor de fertilizantes do mundo, levando em conta a quantidade utilizada por hectare.

Esse uso excessivo de fertilizantes pode acarretar em graves problemas ambientais como a contaminação de lençóis freáticos e mananciais superficiais por meio da lixiviação (Souza, 2018), além de toda a poluição por gases de efeito estufa presentes em toda a cadeia de produção de fertilizantes. Em relação ao solo, o uso em excesso principalmente de fertilizantes químicos fosfatados e nitrogenados pode causar a morte de microrganismos e afetar de maneira negativa toda a fauna edáfica do solo (Silva *et al.*, 2021), a acidificação do solo corroborando com a perda gradativa dos nutrientes (Silva *et al.*, 2021), além de que o desequilíbrio de nutrientes pode causar o antagonismo, onde o nutriente em excesso pode impedir a absorção de outros (FertiSystem, 2023).

Dessa maneira, a adoção da aplicação de adubação por meio da taxa variável é fundamental em diversos aspectos, auxiliando de forma econômica, ambiental e agrônômica. Assim, permitindo um manejo mais sustentável do solo.

## 4 CONCLUSÃO

Portanto, é possível concluir que a aplicação de fertilizantes por meio de taxa variável é de extrema importância para um manejo mais sustentável, permitindo aumentar a produtividade não somente da soja, mas sim de todos os nossos cultivos agrícolas. Acrescendo em fertilidade o solo sem prejudicar o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

AGROMAIS (org.). **Brasil é o segundo maior consumidor de fertilizantes do mundo.**

Disponível em: <https://agromais.uol.com.br/2024/10/03/brasil-e-o-segundo-maior-consumidor-de-fertilizantes-do-mundo/>. Acesso em: 13 dez. 2024.

ARTUZO, F. D. **Análise da eficiência técnica e econômica da agricultura de precisão a taxa variável de fertilizantes na cultura da soja no RS.** 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios. Programa de Pós-Graduação em Agronegócios., Porto Alegre, 2015.

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

BORGELT, S. C.; SEARCY, S. W.; STOUT, B. A.; MULLA, D. J. Spatially variable liming rates: a method for determination. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 37, n. 5, p. 1499-1507, 1994.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2023/24)**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 12 dez. 2024.

FETYSYSTEM. **Quais os problemas gerados pelo excesso na fertilização e como resolvê-los?** Disponível em: <https://www.fertisystem.com.br/m/blog/60d4b0525639c367d906d5d4/quais-os-problemas-gerados-pelo-excesso-na-fertilizacao-e-como-resolve-los>. Acesso em: 13 dez. 2024.

FIORIN, J. E. *et al.* Viabilidade Técnica e Econômica da Agricultura de Precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul. *In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, 16., 2011, Cruz Alta. **Anais**. Cruz Alta, 2011.

PENG, S. X.; HU, X. L. Study on Agricultural Technology Innovation Mode Based on the Demand and Supply Linkage. **Proceedings of the 2012 International Conference on Management Innovation and Public Policy (Icmipp 2012)**, v. 1-6, p. 3486-3490, 2012.

REETZ JR., Harold. **Fertilizantes e seu Uso Eficiente**. São Paulo: Anda, 2017. Tradução de: Alfredo Scheid Lopes.

SILVA, E. C., *et al.* **O uso de fertilizantes e seus impactos ambientais**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Química) - Escola Técnica Estadual Benedito Storani, Jundiaí, 2021.

SOUZA, A. MORASSUTI, C. DEUS, W. Poluição do ambiente por metais pesados e utilizados de vegetais como Bioindicadores. *Acta Biomedica Brasiliensia / Volume 9/ nº 3/ dezembro de 2018*. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6789234.pdf>. Acesso em: 08 ago 2021.

WERNER, V. **Análise econômica e experiência comparativa entre agricultura de precisão e tradicional**. 2007. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

# CAPÍTULO 9

## O USO DE MATURADORES MELHORA A QUALIDADE INDUSTRIAL DO CALDO DA CANA-DE-AÇÚCAR

THE USE OF RIPENERS IMPROVES THE INDUSTRIAL QUALITY OF SUGARCANE JUICE

**Elifas Rodrigo Xavier da Silva**   

Graduando em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Pernambuco-PE, Brasil

**Joel José de Andrade**   

Doutorando em Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Pernambuco-PE, Brasil

**Crissogno Mesquita dos Santos**   

Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Pernambuco-PE, Brasil

**Amanda Michele dos Santos Lima**   

Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Pernambuco-PE, Brasil

**Pedro Victor Alves Albuquerque**   

Graduando em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Pernambuco- PE, Brasil

**Ana Heloísa Rodrigues de Assis Melo**   

Graduanda em agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Pernambuco- PE, Brasil

**Lilian Horanna Alves da Silva**   

Mestranda em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Pernambuco- PE, Brasil

**Emídio Cantídio Almeida de Oliveira**   

Doutor em Solos e Nutrição de plantas, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFPE), Pernambuco- PE, Brasil

DOI: 10.52832/wed.147.874 

**Resumo:** A maturação da cana-de-açúcar é um fator determinante para a qualidade industrial da matéria-prima. Este estudo avaliou o efeito da aplicação de maturadores químicos (Trinexapac-etil) e nutricionais (Florone®) na qualidade do caldo da variedade RB92579, cultivada na Usina Japungu Agroindustrial (PB) durante a safra 2022/2023. O experimento foi conduzido com aplicação isolada e combinada dos maturadores, analisando sólidos solúveis totais (°Brix), sacarose aparente (POL), açúcares totais recuperáveis (ATR), açúcares redutores (AR) e teor de fibra. Os resultados indicaram que ambos os maturadores aumentaram os teores de °Brix, POL e ATR, com acréscimos de até 6% no ATR em comparação ao controle. Não houve variação significativa nos teores de AR e fibra, garantindo a estabilidade estrutural da cana. O Trinexapac-etil inibiu o crescimento vegetativo, favorecendo o acúmulo de sacarose, enquanto o maturador nutricional melhorou o transporte e armazenamento desse açúcar devido à presença de fósforo, potássio e boro. A similaridade nos resultados entre maturadores químicos e nutricionais destaca o uso do maturador nutricional como alternativa sustentável para a maturação da cana, reduzindo impactos ambientais e custos.

**Palavras-chave:** Saccharum sp. Qualidade industrial. Sacarose.

**Abstract:** The maturation of sugarcane is a determining factor for the industrial quality of the raw material. This study evaluated the effect of applying chemical (Trinexapac-ethyl) and nutritional (Florone®) ripeners on the quality of the juice from the RB92579 variety, cultivated at the Japungu Agroindustrial Plant (PB) during the 2022/2023 harvest. The experiment was conducted with isolated and combined application of the ripeners, analyzing total soluble solids (°Brix), apparent sucrose (POL), recoverable total sugars (ATR), reducing sugars (AR), and fiber content. The results indicated that both ripeners increased the levels of °Brix, POL, and ATR, with increases of up to 6% in ATR compared to the control. There was no significant variation in the levels of AR and fiber, ensuring the structural stability of the cane. Trinexapac-ethyl inhibited vegetative growth, favoring the accumulation of sucrose, while the nutritional ripener improved the transport and storage of this sugar due to the presence of phosphorus, potassium, and boron. The similarity in results between chemical and nutritional ripeners highlights the use of the nutritional ripener as a sustainable alternative for sugarcane ripening, reducing environmental impacts and costs.

**Keywords:** Saccharum sp.. Industrial quality. Sucrose

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é a principal cultura no setor sucroenergético global, devido à alta produtividade e o elevado rendimento industrial da cultura (Nunes; Eliz, 2017). O Brasil, Índia e China são os maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, com produção de 713, 348, 123 milhões de toneladas anuais, respectivamente. Devido a uma combinação de fatores climáticos, geográficos e econômicos (Vidal, 2020).

Esses países possuem vastas áreas com clima tropical e subtropical, ideais para o cultivo da cultura, que exige temperaturas elevadas (19°-32° graus) e chuvas regulares (Andrade; Santos, 2020). Além disso, as grandes extensões de terra agrícola e a disponibilidade de mão de obra em abundância contribuem para a produção em larga escala (Kumar; Verma, 2019). Na safra

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

2023/2024, o Brasil contribuiu com 37% da produção mundial de cana-de-açúcar, e 30% da oferta mundial de açúcar (CONAB, 2024).

A alta capacidade de conversão de água e energia luminosa em carboidratos da cana-de-açúcar é a sua característica mais relevante em relação às demais culturas sucroenergéticas. A sacarose é o principal carboidrato armazenado pela cana-de-açúcar no colmo (IAC, 2020).

A biossíntese da sacarose na cana-de-açúcar ocorre principalmente nas células do mesofilo das folhas, onde a fotossíntese produz os precursores necessários para sua formação. Esse processo envolve três enzimas-chave: UDP-glicose pirofosforilase (UGPase), que ativa a glicose; sacarose-fosfato-sintase (SPS), que catalisa a formação de sacarose-6-fosfato; e sacarose-fosfatase (SPP), que remove o fosfato, gerando sacarose livre. Esse processo é regulado por fatores ambientais e hormonais, sendo essencial para o acúmulo de açúcar nos colmos da planta, que são explorados pela indústria sucroalcooleira (Lemoine *et al.*, 2013; Ruan, 2014).

O acúmulo de sacarose no colmo da cana-de-açúcar ocorre quando a demanda energética para o desenvolvimento de novos tecidos diminui, redirecionando a energia para o acúmulo de sacarose. (Smith *et al.*, 2020).

O armazenamento de sacarose pela cana-de-açúcar pode ser limitado por fotoperíodos longos (Jones *et al.*, 2019), altas temperaturas (Santos; Silva; Oliveira, 2021), umidade de solo e status nutricional da planta (Pereira; Costa, 2020). Essas condições, beneficiam o crescimento vegetativo, consumindo energia proveniente dos carboidratos, principalmente da sacarose (Brown; Williams, 2021). Fotoperíodos longos estimulam o crescimento vegetativo ao direcionar fotoassimilados para a produção de biomassa em vez do armazenamento de sacarose, pois aumentam a atividade da invertase, que degrada a sacarose em glicose e frutose para suprir a demanda energética (Zhu *et al.*, 2020). Altas temperaturas elevam a taxa respiratória e reduzem a atividade da sacarose-fosfato-sintetase (SPS), diminuindo o acúmulo de sacarose nos colmos (Wu *et al.*, 2019).

Para contornar esses desafios, técnicas de manejo como a escolha adequada do momento de colheita e a aplicação de maturadores químicos e nutricionais são utilizadas (Souza; Mendes, 2020).

A aplicação de maturadores químicos e nutricionais favorece o acúmulo de sacarose por estimular a biossíntese de sacarose nas folhas e o transporte, seguido de acúmulo no colmo da planta (Leite *et al.*, 2010). O Trinexapaque-Etílico inibe as giberelinas GA1 e GA3, que controlam o crescimento vegetativo, e aumenta a atividade da sacarose-fosfato-sintase (SPS), favorecendo a translocação e o acúmulo de sacarose no colmo (Lee; Taylor, 2023). Isso resulta em maior concentração de sacarose no colmo, melhorando a qualidade industrial da cana.

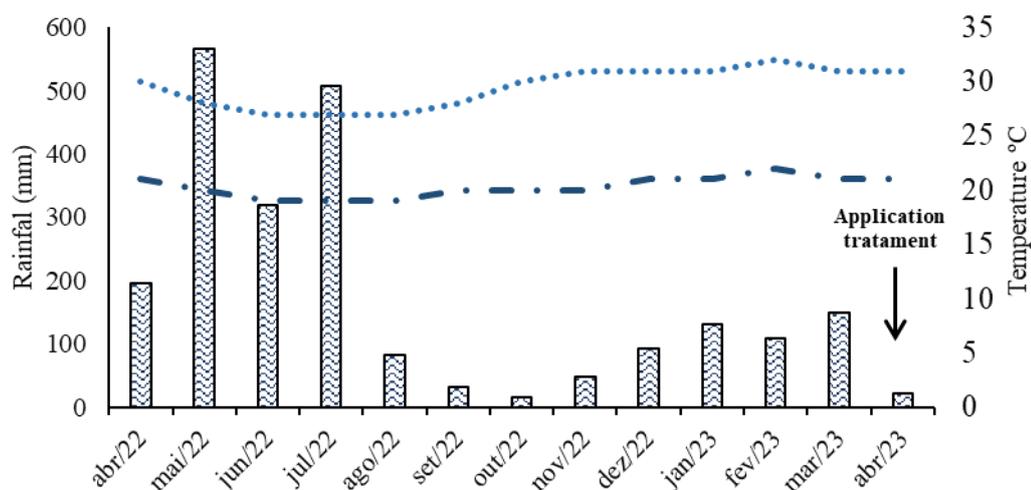
Alguns nutrientes favorecem o acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar, e para esse fim são reconhecidos como maturadores nutricionais. Nutrientes como fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N) e boro (B) desempenham papéis importantes na translocação e armazenamento de sacarose na planta (Harris *et al.*, 2021). O fósforo (P) é essencial na produção de ATP, fornecendo energia para o transporte ativo da sacarose nos vasos floemáticos (Thompson *et al.*, 2020). O potássio (K) otimiza a fotossíntese e ativa enzimas relacionadas ao metabolismo da sacarose (Clark *et al.*, 2021). O nitrogênio é essencial para a síntese de proteínas e enzimas (Robertson *et al.*, 2022). O boro (B) é fundamental na integridade da parede celular e no transporte de açúcares através das membranas celulares (Wilson; Anderson, 2023).

Na indústria sucroalcooleira, o POL indica a pureza da sacarose no caldo, enquanto o Brix mede a concentração de sólidos solúveis totais. A fibra representa a fração insolúvel da cana, o ATR (Açúcares Totais Recuperáveis) quantifica o açúcar disponível para a produção, e o AR (Açúcar Redutor) correspondem aos açúcares simples que influenciam o produto final.

Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar o impacto do maturador nutricional sobre os parâmetros industriais da cana-de-açúcar, incluindo POL, Brix, fibra, ATR e AR, além de comparar a qualidade industrial do caldo em relação ao uso de maturadores químicos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na usina Japungu Agroindustrial durante a safra agrícola 2022/2023, no ciclo da segunda soca da variedade RB92579. A região apresenta clima predominante do tipo 'Tropical As' com temperatura média anual de 26°C e precipitação acumulada de 1.700 mm distribuídas durante o inverno, segundo a classificação de Köppen, (Alvares *et al.*, 2013). A precipitação acumulada durante a safra foi de 2.271 mm (Figura 1). Durante a condução do experimento a precipitação acumulada foi de 174,08 mm. Durante o período de avaliação, a lâmina de irrigação pré-definida foi fornecida diariamente em 3,22mm. A irrigação foi fornecida até duas semanas antes da colheita. As coordenadas geográficas da área experimental correspondem a 58°18'S e 34°59'36"W com altitude de 89 m.

**Figura 1** – Caracterização meteorológica da área experimental na Japungu Agroindustrial, PB, na safra 2022/2023.

Fonte: Autores, 2024.

O experimento foi montado em quatro faixas casualizadas (Silva *et al.*, 2024). As faixas foram compostas por sete linhas duplas espaçadas de 1,40 x 0,50 m com 60,0 m de comprimento, totalizando uma área de 798 m<sup>2</sup> parcela<sup>-1</sup>. Nas faixas foram aplicadas o maturador nutricional (MN) e o maturador químico (MQ) e a combinação de MN+MQ. O MN testado foi o produto comercial Florone® (Tabela 1) na dose de 0,80 L ha<sup>-1</sup> e o MQ foi Moddus® (Trinexapac-etil 250 g i.a. ativo) na dose de 1,2 l ha<sup>-1</sup>, conforme recomendação do fabricante (Tabela 1).

**Tabela 1** – Physicochemical characterization of chemical and nutritional ripeners.

Composition	NM	QM
Aminoácidos livres (p/p)	4%	-
Nitrogênio total (p/p)	1%	-
Nitrogênio orgânico (p/p)	1%	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (p/p)	10%	-
K <sub>2</sub> O (p/p)	10%	-
B (p/p)	0,25%	-
Mo (p/p)	0,20%	-
pH	7.5	3,0 – 5,0
Densidade (g ml <sup>-1</sup> )	1,26	0,98 – 1,00

MN; Maturador Nutricional, QM = Maturador Químico

Fonte: Autores, 2024.

## Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.*

A aplicação dos maturadores foi realizada 30 dias antes da colheita, entre as 06:00 e 07:30 horas da manhã, com pulverizador aéreo AGRAS MG T20 a 5 m de altura acima do nível da cultura. A vazão total do pulverizador foi regulada para 13 L ha<sup>-1</sup>.

A qualidade dos atributos tecnológicos da cana-de-açúcar foi avaliada aos 30 dias após aplicação dos tratamentos (DAAT). Para isso, foram colhidos 2 m lineares de cana-de-açúcar em cada parcela e dez colmos foram selecionados aleatoriamente para determinação dos sólidos solúveis totais (°Brix), percentual de pureza (%), Sacarose Aparente (POL), percentual de fibra (%), percentual de açúcares redutores (AR) e açúcares totais recuperáveis (ATR).

Os colmos colhidos foram processados em forrageira. Uma subamostra de 0,5g foi coletada e posta em prensa hidráulica com pressão constante de 250 kgf cm<sup>-2</sup>. No caldo extraído foi determinado o °Brix por refratometria óptica com refratômetro digital. O Pol por polarimetria óptica com sacarímetro automático digital. A fibra (%), AR, ATR e pureza foram estimados pelas Equações 1, 2, 3 e 4, conforme propõe CONSECAN (2006):

$$\text{Fibra (\%)} = 0,0779 \times \text{PBU} + 2,3136 \text{ (Equação 1)}$$

$$\text{ATR (Kg t}^{-1}\text{)} = 10 \times \text{POL} \times 0,915 + 1,05263 + 10 \times \text{AR} \times 0,915 \text{ (Equação 2)}$$

$$\text{AR (\%)} = 3,3459 - 0,02871 \times \text{Pza} \text{ (Equação 3)}$$

$$\text{Pureza (\%)} = \text{POL} / \text{Brix} \times 100 \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

Fibra = Percentual de Fibra (%); PBU (g) = peso do bagaço úmido; AR = Açúcares Redutores; Pza = pureza do caldo; Brix = sólidos solúveis.

Os dados obtidos foram submetidos a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente, a  $p < 0,05$ . As médias dos resultados aos 30 dias de aplicação do tratamento, foram comparadas entre si pelo teste LSD a  $p < 0,05$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de °Brix, Pol, ATR, AR e fibra corresponderam a 20°, 16%, 130 Kg ha<sup>-1</sup>, 0,6%, 11%, respectivamente (Figura 2), e estão coerentes aos encontrados na literatura (Silva *et al.*, 2021; Melo, Bruno, 2021; Dutra *et al.*, 2020). Neste estudo, a aplicação dos maturadores aumentou o °Brix, Pol e ATR em 1%, 1% e 6%, respectivamente, em relação ao controle (sem maturador) (figura 2 a, b e d). Esse aumento impacta diretamente a eficiência e a rentabilidade da indústria sucroalcooleira.

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

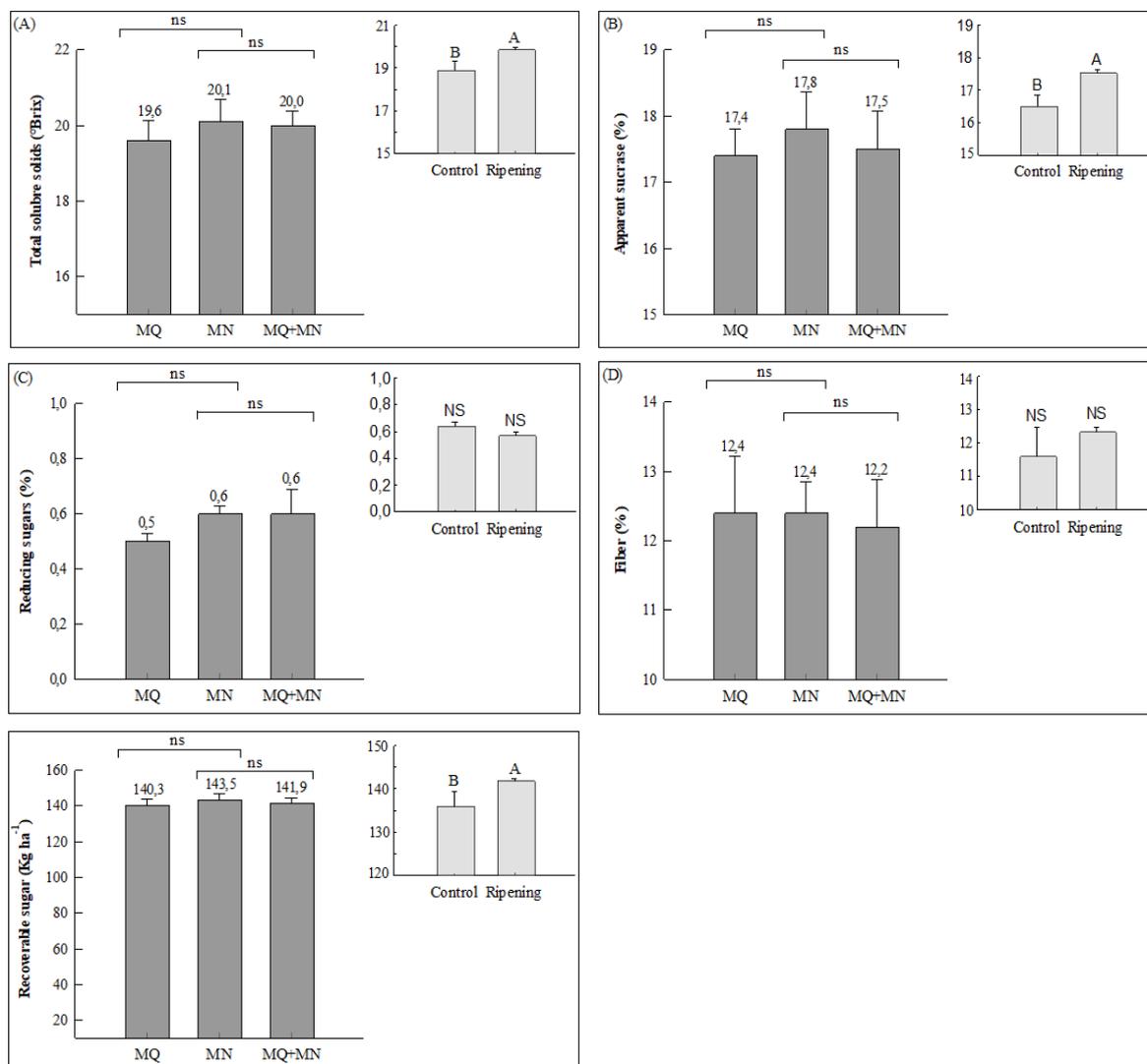
Um aumento de 1% no ATR pode representar um acréscimo substancial na lucratividade das usinas, uma vez que o valor do ATR é um dos principais indicadores econômicos utilizados para a remuneração da matéria-prima (Referenciar). Segundo Consecana (2023), um incremento de 1% no ATR pode elevar a receita das usinas em até 3%, dependendo da cotação do açúcar e do etanol no mercado internacional. Um caldo com maior teor de sacarose reduz o consumo energético nas etapas de evaporação e cristalização, resultando em menor custo operacional e maior eficiência no aproveitamento da matéria-prima (Dutra Filho *et al.*, 2020).

Os maturadores influenciaram positivamente os parâmetros industriais da cana-de-açúcar. A inibição do crescimento vegetativo, o aumento da força do dreno no colmo, carreamento e transporte de sacarose no floema podem ter contribuído para melhorar os atributos industriais da cana-de-açúcar deste estudo (Figura 2). O MQ, Trinexapac-etil, inibe a forma ativa do GA1 e GA3. A inibição do crescimento vegetativo aumenta a sacarose nos colmos da cultura porque reduz o consumo energético e redireciona os carboidratos da fotossíntese para o armazenamento. Isso ocorre devido à menor demanda dos tecidos vegetativos, maior atividade da enzima SPS, maior translocação via floema e menor consumo energético pela planta (Leite *et al.*, 2010; Vasantha *et al.*, 2022).

No MN, o N e P são componentes estruturais das adenosinas fosfato, coenzimas responsáveis pela energia de ativação no processo de biossíntese e transporte de sacarose. Enquanto, K e B melhoram a eficiência do transporte de sacarose, a partir do aumentando a força do dreno, do carreamento de sacarose no floema e da formação de complexo ionizável açúcar-boratos que aumenta a permeabilidade da sacarose na membrana (Clark *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2021).

Não houve diferença, apenas, nos teores de AR e fibra. Essa estabilidade é desejável para a indústria, pois minimiza perdas na extração. (Figura 2 c; d). Resultados semelhantes ao deste estudo foram obtidos por Silva *et al.*, (2024), que não encontraram alterações significativas nos teores de AR e fibra, o que indica que os tratamentos não comprometeram a estrutura da planta.

**Figure 2** – Sólidos solúveis totais-°Brix (A), Sacarose aparente (B), Açúcares redutores (C), Fibra (D) após 24 dias da aplicação dos maturadores químicos e nutricionais. Letras diferentes entre os tratamentos indicam efeito significativo  $p < 0,05$  pelo teste t. Amadurecimento Nutricional (MN), Amadurecimento Químico (MQ), Amadurecimento Químico + Amadurecimento Nutricional (MQ + MN). Açúcar total recuperável após 24 dias da aplicação de maturadores químicos e nutricionais. Letras diferentes entre os tratamentos indicam efeito significativo  $p < 0,05$  pelo teste t.



Fonte: Autores, 2024.

A ausência de efeito em AR indica que os maturadores aumentam a concentração de sacarose no caldo da cana-de-açúcar, sem comprometer a composição da planta ou gerar açúcares indesejáveis ao processo agroindustrial (Robertson *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2024).

Os teores de sólidos solúveis totais (°Brix), a porcentagem de sacarose aparente (POL%) e o açúcar total recuperado (ATR kg ha<sup>-1</sup>) foram semelhantes com aplicação de MN, MQ e MN+MQ. Isso indica que ambos os maturadores contribuem com a concentração de carboidratos na planta, bem como na conversão de carboidratos simples em sacarose (Silva *et al.*, 2024). Esta condição aumenta o rendimento industrial da cana-de-açúcar (Thompson *et al.*, 2020).

A semelhança na qualidade do caldo da cana-de-açúcar com MQ e MN encontrada neste estudo, traz o uso do MN como uma alternativa viável ao manejo de maturação da cana-de-açúcar para regiões onde o processo natural de maturação fisiológica da cana-de-açúcar é desfavorecido pelas condições edafoclimáticas.

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados indicam que o uso de maturadores, tanto químicos (Trinexapac-etil) quanto nutricionais, melhora a qualidade da cana-de-açúcar, aumentando os teores de sólidos solúveis totais (Brix), sacarose aparente (POL) e açúcar recuperável (ATR), sem alterar significativamente o teor de fibra ou os açúcares redutores (AR). Ambos podem ser usados, obtendo uma eficiência similar. Entretanto, o uso de maturadores nutricionais se destaca como uma alternativa mais viável ao manejo da maturação, especialmente em regiões onde as condições climáticas dificultam o acúmulo natural de sacarose.

#### REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDRADE, E. R.; SANTOS, F. A. Impactos socioeconômicos da produção de cana-de-açúcar no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 74, n. 2, p. 215–229, 2020.
- BROWN, H.; WILLIAMS, P. The role of environmental factors in sugarcane growth. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 207, p. 45–60, 2021.
- CLARK, J. *et al.* The impact of potassium on sucrose metabolism in sugarcane. **Plant Physiology**, v. 187, p. 233–245, 2021. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiaa211>.
- CONAB. **Produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>.
- CONSECANA. Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de instruções**. Piracicaba: Consecana, 2006.
- DAVIS, M. *et al.* Chemical and nutritional ripeners in sugarcane: A comparative study. **Agricultural Science and Technology Journal**, v. 15, p. 112–130, 2022.
- DUTRA FILHO, J. A. *et al.* Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 419–428, 2009.
- HARRIS, L. *et al.* Nutrient management in sugarcane: Implications for yield and quality. **Crop Science**, v. 200, p. 78–95, 2021.

JONES, R. *et al.* Influence of climate conditions on sugarcane maturity. **International Journal of Plant Biology**, v. 45, p. 312–328, 2019.

KUMAR, S.; VERMA, A. Challenges in sugarcane production and its environmental impacts in India. **Environmental Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 489–498, 2019.

KUMAR, V. *et al.* Papel do boro na formação de complexos açúcar-borato e sua influência na permeabilidade de membranas em cana-de-açúcar. **Plant and Soil**, v. 460, p. 435–447, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04812-3>.

LEE, S.; TAYLOR, B. Gibberellin inhibitors and sugar accumulation in sugarcane. **Plant Growth Regulation Journal**, v. 98, p. 67–80, 2023.

LEITE, G. H. P. *et al.* Qualidade tecnológica em diferentes porções do colmo e produtividade da cana-de-açúcar sob efeito de maturadores. **Bragantia**, v. 69, p. 861–870, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400014>.

LEMOINE, R. *et al.* Sucrose transporters in plants: update on function and structure. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 266, 2013.

NUNES, E. F. **Cana-de-açúcar: a produção de etanol e seus benefícios**. Monografia (Técnico em Agronegócios) – Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de São Paulo, Barretos, 2017.

PEREIRA, L. M.; COSTA, F. S. Influência da umidade do solo e da nutrição mineral no teor de sacarose da cana-de-açúcar. **Agricultural Water Management**, v. 228, p. 105876, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105876>.

ROBERTSON, K. *et al.* Nitrogen assimilation and sugarcane growth dynamics. **Field Crops Research**, v. 275, p. 108–120, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108120>.

RUAN, Y. L. Sucrose metabolism: gateway to diverse carbon use and sugar signaling. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, p. 33–67, 2014.

SANTOS, D. M.; SILVA, J. A.; OLIVEIRA, M. R. Impacto de condições climáticas no acúmulo de sacarose em cultivares de cana-de-açúcar. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 3, p. 45–53, 2021.

SILVA, L. B. *et al.* Bioestimulante para maturação de cana-de-açúcar em trabalhos fertirrigados por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, p. e279092, 2024. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n4p279092>.

SMITH, A. *et al.* Mechanisms of sucrose accumulation in sugarcane: A molecular perspective. **Sugarcane Research Journal**, v. 30, p. 99–115, 2020.

THOMPSON, D. *et al.* ATP synthesis and carbohydrate transport in sugarcane. **Plant Molecular Biology**, v. 215, p. 45–60, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-01090-w>.

VASANTHA, S. *et al.* Physiology of sucrose productivity and implications of ripeners in sugarcane. **Sugar Tech**, v. 24, p. 715–731, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01062-7>.

VIDAL, M. F. Produção e mercado de açúcar. 2020.

**Pesquisas em Manejo, Conservação e Ciência do Solo | Vila Verde *et al.***

WILSON, P.; ANDERSON, J. The importance of boron in sugarcane physiology. **Journal of Agricultural Research**, v. 210, p. 120–135, 2023.

WU, J. *et al.* Effects of temperature on sucrose metabolism in sugarcane. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 140, p. 59–67, 2019.

ZHU, Y. *et al.* Photoperiod effects on sucrose accumulation in sugarcane. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1234, 2020.

**Informações sobre a Editora**

Wissen Editora

Homepage: [www.editorawissen.com.br](http://www.editorawissen.com.br)

Teresina – Piauí, Brasil

E-mails: [contato@wisseneditora.com.br](mailto:contato@wisseneditora.com.br)

[wisseneditora@gmail.com](mailto:wisseneditora@gmail.com)

**Siga nossas redes sociais:**



@wisseneditora

