

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MOÇAMBIQUE

Faculdade de Ciências Agronómicas

Estudo comparativo da eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio a aplicação a taxas variadas de fertilizantes.

Osvaldo Acácio Joaquim

Cidade de Cuamba,
Outubro de 2024

Estudo comparativo da eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio a aplicação a taxas variadas de fertilizantes.

Osvaldo Acácio Joaquim

Trabalho de monografia apresentado à
Universidade Católica de Moçambique –
Faculdade de Ciências Agronómicas como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Licenciatura em Agronomia.

Supervisor(es): Doutor José do Rosário Bofana (Ph.D)

Faculdade de Ciências Agronómicas
Outubro de 2024

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICÁCIA DE DIFERENTES MÉTODOS
DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL NO ZONEAMENTO DA
VARIABILIDADE ESPACIAL DO PH DO SOLO COMO FERRAMENTA
DE APOIO A APLICAÇÃO A TAXAS VARIADAS DE FERTILIZANTES**

OSVALDO ACÁCIO JOAQUIM

O presente trabalho é submetido a Universidade Católica de Moçambique, Faculdade de Ciências Agronómicas, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Agronomia.

Aprovação do Júri:

O presente trabalho foi sujeito a avaliação do júri no dia 17 de Dezembro de 2024, tendo sido aprovado com a classificação final de 17 valores.

Júri Examinador:

Presidente: Sueco Albino Cipriano

Engº. Sueco Albino Cipriano, MSc (UCM-FCA)

Oponente: Samuel Mussava

Engº. Samuel Mussava, MSc (UCM-FCA)

Supervisor: José do Rosário Bofana

Doutor José Bofana, Ph.D (UCM-FCA)

Cuamba, Janeiro de 2025

FINANCIAMENTO

Este trabalho foi realizado com o financiamento de:

- Universidade Católica de Moçambique – Faculdade de Ciências Agrónómicas, Cuamba;

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Eu, Osvaldo Acácio Joaquim, estudante matriculada com o nº de estudante 704200067, no curso de Licenciatura em Agronomia, autor do trabalho de monografia, submetido à Faculdade de Ciências Agronómicas da Universidade Católica de Moçambique, intitulado ***Estudo comparativo da eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio a aplicação a taxas variadas de fertilizantes***, orientado pelo Doutor José do Rosário Bofana e Mestre Miquitaio João Rego, declaro que este é original, nunca foi antes submetido a outra instituição para efeitos de obtenção de grau. Declaro ainda que toda a informação apresentada no trabalho é resultado da investigação de campo e da revisão da literatura, cujas fontes utilizadas encontram-se devidamente citadas no texto e listadas nas referências bibliográficas.

Cidade de Cuamba, Outubro de 2024



Osvaldo Acácio Joaquim

DEDICATÓRIA

Dedico as palavras deste trabalho aos meus queridos pais, Acácio Joaquim Albino e Virgínia Eusébio, cujos valores, amor e exemplo constante foram a luz que guiou cada passo desta jornada. A vocês, que sempre me incentivaram a sonhar e a acreditar no poder da educação, ofereço com profunda gratidão os frutos deste esforço. Que estas páginas reflitam a dedicação, o carinho e o legado que plantaram em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero expressar minha gratidão ao Pai Supremo, Deus, por Sua infinita bondade e bênçãos ao longo de minha jornada acadêmica. A Ele, toda a honra e glória. Agradeço profundamente aos meus pais, Acácio Joaquim Albino e Virgínia Eusébio, pelo amor incondicional, apoio e sacrifícios que fizeram para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Sem vocês, nada disso seria possível.

Ao meu supervisor, Doutor José Bofana (Ph.D), minha eterna gratidão por sua orientação, paciência e por compartilhar seu conhecimento e experiência, que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Agradeço também ao Mestre Miquitaio João Rego, Dr. António Matusse, técnico do laboratório da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Cuamba, ao Engenheiro Raúl Mussane e ao Engenheiro Jardel Das Neves, pelo suporte técnico e pela disponibilidade em me ajudar sempre que precisei.

Minha avó Catarina Uadar, minha eterna fonte de sabedoria e inspiração, sua força e amor são inestimáveis. À minha namorada, Irene André Matope, agradeço pelo apoio constante, amor e compreensão que me fortalecem a cada dia. Sua presença em minha vida é um verdadeiro presente. Não poderia deixar de agradecer aos meus irmãos Tânia Acácio Joaquim, Milénia Acácio Joaquim, Dulce Acácio Joaquim, Juvenaldo Acácio Joaquim e Ivaldo Acácio Joaquim, cujo apoio e encorajamento foram essenciais durante todo esse percurso.

Aos meus Amigos Anacleto Valério Rosário, Sérgio Ernesto Agostinho, Frank Celestino Rafael, Momed Hussene Cassimo, Helena Lino Jorge Teca, Lúcia Pascoal Simão, Zainaba Américo Simenha, Benilda Raul Eugénio e Octávio Calisto Constantino, minha sincera gratidão pelo imenso apoio incondicional em toda a caminhada acadêmica. A camaradagem e os momentos compartilhados foram fundamentais para a superação dos desafios e para o sucesso desta caminhada.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

A acidez do solo é um fator crucial que influencia a disponibilidade de nutrientes e a produtividade agrícola. Este estudo teve como objetivo analisar a variabilidade espacial do pH do solo em uma área agrícola e comparar a eficácia de dois métodos de interpolação espacial: Inverse Distance Weighting (IDW) e Krigagem Ordinária (OK), com vistas a fornecer uma base para a implementação de práticas de manejo mais precisas. Foram coletadas 82 amostras de solo em diferentes pontos da área de estudo, e essas amostras foram analisadas quanto ao pH. Os resultados foram interpolados utilizando ambos os métodos para gerar mapas de variabilidade do pH, e a avaliação da precisão foi baseada em parâmetros de erro e coeficiente de determinação (R^2). Os resultados mostraram uma variação do pH entre 3,55 e 6,46, com uma média de 4,56, indicando que o solo na área é predominantemente ácido. O método de Krigagem produziu mapas mais suaves e foi mais eficaz em áreas com alta variabilidade espacial, enquanto o IDW gerou variações localizadas, sendo mais adequado para áreas com menor complexidade. As conclusões do estudo apontam que a escolha do método de interpolação deve depender da heterogeneidade do solo, com o OK sendo mais recomendado para áreas com alta variabilidade e o IDW para áreas homogêneas. Como recomendação, sugere-se a adoção de práticas de agricultura de precisão, como a calagem direcionada, para corrigir a acidez do solo nas áreas mais afetadas, utilizando os mapas de zoneamento para otimizar o manejo agrícola e, assim, melhorar a produtividade, ao mesmo tempo em que se minimizam os impactos ambientais negativos. Este estudo demonstra a importância da agricultura de precisão para uma gestão mais sustentável dos solos, utilizando tecnologias que permitem um uso mais eficiente dos insumos e recursos disponíveis.

Palavras-chave: pH do solo, variabilidade espacial, Krigagem Ordinária, IDW, agricultura de precisão.

ABSTRACT

Soil acidity is a crucial factor that influences nutrient availability and agricultural productivity. This study aimed to analyze the spatial variability of soil pH in an agricultural area and compare the effectiveness of two spatial interpolation methods: Inverse Distance Weighting (IDW) and Ordinary Kriging (OK), with the objective of providing a basis for the implementation of more precise management practices. A total of 82 soil samples were collected from different points within the study area, and these samples were analyzed for pH levels. The results were interpolated using both methods to generate pH variability maps, and accuracy was evaluated based on error parameters and the coefficient of determination (R^2). The results showed a pH variation between 3.55 and 6.46, with an average of 4.56, indicating that the soil in the area is predominantly acidic. The Kriging method produced smoother maps and was more effective in areas with high spatial variability, while IDW generated more localized variations, making it more suitable for areas with less complexity. The study concluded that the choice of interpolation method should depend on the heterogeneity of the soil, with OK being recommended for areas with high variability and IDW for homogeneous areas. As a recommendation, it is suggested to adopt precision agriculture practices, such as targeted liming, to correct soil acidity in the most affected areas, using zoning maps to optimize agricultural management and, thus, improve productivity while minimizing negative environmental impacts. This study highlights the importance of precision agriculture for more sustainable soil management, utilizing technologies that enable more efficient use of inputs and available resources.

Keywords: soil pH, spatial variability, Ordinary Kriging, IDW, precision agriculture.

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
%	: Percentagem
<	: Menor
>	: Maior
°C	: Graus Celsius
Cm	: Centímetros
EMA	: Erro Médio Absoluto
EMQ	: Erro Medio Quadrático
FAO	: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GPS	: Sistema de Posicionamento Global
IDW	: <i>Inverse Distance Weighted</i> (Inverso Ponderado da Distância)
INE	Instituto Nacional de Estatística
Km	: Quilómetros
MADER	: Ministério de Agricultura e Desenvolvimento Rural
MAE	Ministério de Agricultura e Extensão
mm	: Milímetros
Nº	: Número
OK	: <i>Ordinary Kriging</i> (Krigagem Ordinária)
pH	: Potencial Hidrogeniónico
US\$	: Dólares

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área produzida por província em hectares das principais culturas.....	11
Tabela 2. Rendimento por província em toneladas das principais culturas.....	12
Tabela 3. Parâmetros definidos para o processo de interpolação	42
Tabela 4. Níveis de acidez do solo de acordo com FAO	42
Tabela 5. Resultados da análise estatística dos valores de pH do solo	47
Tabela 6. Resultados dos parâmetros de avaliação da qualidade (eficácia)	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala de variação de pH	28
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo	37
Figura 3. Distribuição espacial dos pontos amostrais.....	39
Figura 4. Histograma da frequência da distribuição dos valores de pH do solo	48
Figura 5. Gráfico da dispersão dos valores de pH por localização.....	49
Figura 6. Mapa da distribuição espacial dos valores de pH	50
Figura 7. Resultados da interpolação espacial pelo método IDW	51
Figura 8. Resultados da interpolação espacial pelo método OK	52

ÍNDICE

Conteúdos	Pág.
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Problematização.....	3
1.3. Justificativa	4
1.4. Objectivos de estudo.....	6
1.4.1. Objectivo geral	6
1.4.2. Objectivos específicos	7
1.5. Hipóteses	7
1.6. Estrutura do trabalho	7
CAPÍTULO II: REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1. Situação actual da produção agrícola	9
2.2. Principais culturas produzidas em Moçambique	9
2.2.1. Cultura alimentares.....	13
2.2.2. Culturas de rendimento.....	19
2.3. Desafios da agricultura em Moçambique	25
2.3.1. Pragas.....	26
2.3.2. Clima	26
2.3.3. Solos	27
2.3.4. Influência dos solos na produção agrícola.....	27
2.4. Variação do pH do solo e seu impacto no desenvolvimento das culturas	30
2.4.1. Processo de correção do pH do solo.....	30
2.5. Zoneamento da distribuição de Nutrientes no solo (Interpolação espacial).....	31
2.5.1. Inverse Distance Weighting	32
2.5.2. Krigagem Ordinária.....	32
2.6.3. Vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de interpolação	32
2.7. Avaliação da qualidade de interpolação espacial.....	33
2.7.1. Matriz de confusão	33
2.7.2. Coeficiente K.....	34
2.7.3. Análise estatística (Desvio padrão e erro médio)	34
CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1. Descrição do local de estudo	37

3.2. Materiais	38
3.3. Métodos	39
3.3.1. Definição da área de amostragem.....	39
3.3.2. Desenho de amostragem.....	39
3.3.3. Colecta de amostras	40
3.3.4. Processamento e análise das amostras e análise exploratória dos dados.....	40
3.3.6. Avaliação da qualidade da interpolação por IDW e OK.....	43
3.4. Constrangimentos	45
3.5. Limitações do estudo	45
3.5. Considerações ética	46
CAPÍTULO IV: RESULTADOS ANÁLISES E DISCUSSÃO	47
4.1. Análise exploratória dos resultados laboratoriais	47
4.2. Mapeamento da variabilidade do pH do solo	50
4.2.1. Variabilidade do pH do solo	50
4.2.2. Comparação dos níveis de Acidez do solo	53
4.2.3. Avaliação da qualidade (eficiência) dos interpoladores.....	54
4.3. Relação entre a variação do pH e desenvolvimento de diferentes culturas.....	56
CAPÍTULO V: CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E INOVAÇÃO.....	59
5.1. Conclusões.....	59
5.2. Recomendações	60
5.3. Inovação.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICES	87

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A agricultura desempenha um papel crucial na história da humanidade, fornecendo sustento essencial para indivíduos e comunidades (Soga et al., 2022). Na África, a agricultura desempenha um papel significativo no progresso do continente e sua importância é inestimável, pois serve como fonte de alimentos e renda para a maior parte da população do continente (Rafael, 2023), além de desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento socioeconómico da África (Sikuka, 2014). Contudo, a agricultura africana é dominada por pequenos agricultores que contam com áreas de produção que variam até 2 hectares, os quais são responsáveis por produzir até 80% dos alimentos na região (Giller et al., 2021; Mapanje et al., 2023; Onyeneke et al., 2023). Conforme as projecções das Nações Unidas, a população mundial deverá exceder 8,5 bilhões até o ano de 2030, atingir mais de 9,7 bilhões em 2050 e ultrapassar 11,1 bilhões até o ano 2100 (Sadigov, 2022), sendo 53 milhões somente em Moçambique até o ano de 2040 (Porter, 2018).

Moçambique enfrenta um estado crónico de subdesenvolvimento, com cerca de 65% da população, aproximadamente 19 milhões de pessoas, vivendo na extrema pobreza, sobrevivendo com menos de US\$1,90 por dia (Porter, 2018). Portanto, para alimentar essa população em constante crescimento, há uma exigência de aumento contínuo na produção agrícola, o que requer melhorias e diversificação dos produtos. O desenvolvimento intensivo do sector agrícola é essencial para alcançar esse aumento na produção (Asatov et al., 2023). Neste contexto, práticas de agricultura sustentável são recomendadas por vários pesquisadores (Ghuriani et al., 2023; Saikanth et al., 2023; Siebrecht, 2020; Patel et al., 2023). Essas práticas incluem princípios como a perturbação mínima do solo durante o plantio, cobertura permanente do solo (por meio de corretivos orgânicos, cobertura morta e culturas de cobertura) e rotação diversificada de culturas (Jasrotia et al., 2023).

No entanto, as mudanças climáticas estão aumentando eventos meteorológicos extremos, como inundações e secas, afetando a distribuição das chuvas e complicando o planeamento agrícola, especialmente em regiões dependentes da agricultura de sequeiro, como é o caso da África subsaariana, onde quase 95% da agricultura é dependente das chuvas (Hainzelin, 2013; Nosipho Hlophe-Ginindza & Mpandeli, 2021). Esses eventos podem ter impacto na produção de alimentos e levar a desafios na satisfação das necessidades alimentares de uma população em constante crescimento (Knight et al., 2023). Além disso, esses fenómenos climáticos não só

resultarão em perdas significativas no rendimento das culturas, mas também impactarão negativamente a segurança alimentar em países vulneráveis (Schmitt et al., 2022; Nayak & Solanki, 2022).

As inundações podem levar à dissolução reductiva de minerais, mobilizando carbono orgânico e potencializando a exportação de carbono orgânico dissolvido do solo (Kim et al., 2023; Keiluweit & Anderson, 2023). Isso pode resultar na perda de carbono dos solos de várzea, solos encontrados em áreas de planície inundável, geralmente ao longo das margens de rios, riachos e áreas alagadiças sazonais. Por outro lado, as inundações também podem impactar a estrutura do solo, a porosidade e os componentes físico-químico-biológicos, levando a alterações na saúde do solo (Lieberman & Rothman, 2022). Contudo, as secas perturbam funções e serviços cruciais do ecossistema, como a ciclagem de nutrientes e a fertilidade do solo, resultando em menor produtividade das plantas e perdas económicas (Bogati & Walczak, 2022). Além disso, as mudanças climáticas podem influenciar o pH do solo, com o aumento da temperatura levando à diminuição do pH dos solos, tornando-os ácidos devido à redução nos insumos de cátions base e na capacidade de tamponamento do solo, consequentemente diminuindo a produtividade das culturas (Tóth et al., 2013; Merl et al., 2022; De Vargas et al., 2019). Práticas agrícolas inadequadas, como a utilização de fertilizantes químicos nitrogenados (Zhang et al., 2016), o uso excessivo de fertilizantes, água com altos teores de sais e água em excesso sem um sistema adequado de drenagem na agricultura irrigada (Castro et al., 2021), e a não rotação de culturas (Kostrzevska et al., 2022) também podem influenciar no processo de acidificação dos solos.

Para elevar o baixo pH em solos ácidos, existem vários métodos que podem ser utilizados. Uma abordagem consiste em alterar o solo com materiais de calagem inorgânicos que apresentam elevados valores neutralizantes e reactividade, o que pode ajudar a superar o baixo pH e melhorar a produtividade do solo e das culturas (Ng et al., 2022). A calagem do solo visa melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e remover cátions metálicos indesejáveis, sendo essencial para aumentar o rendimento das culturas e promover seu desenvolvimento saudável (Corbett et al., 2022). Neste processo de calagem, podem ser incorporados correctivos inorgânicos como o calcário agrícola, também conhecido como carbonato de cálcio (CaCO_3), e cal hidratada Ca(OH)_2 (Sopha et al., 2022). Além disso, também podem ser incorporados correctivos orgânicos, como as cinzas de madeira. A aplicação de cinzas de madeira demonstra elevar o pH do solo, melhorar as propriedades de sorção do solo e aumentar o conteúdo de nutrientes disponíveis, como potássio, fósforo e magnésio (Pitman et al., 2024; Oliveira et al., 2023).

Na aplicação desses correctivos, é de extrema importância o uso de mapas de produtividade e fertilidade, pois a fertilidade do solo é uma área crítica que leva à necessidade de aplicar fertilizantes em taxas variáveis (Werner et al., 2007), e um dos elementos que dita essa fertilidade é o pH. Nisso, as doses de insumos são ajustadas conforme as necessidades de cada região (Molin et al., 2010), melhorando a eficiência do uso de insumos e reduzindo os impactos ambientais causados pela prática da agricultura. Portanto, torna-se imprescindível a compreensão da variação espacial das propriedades do solo, o que demanda uma amostragem precisa (Bottega et al., 2013). Para a produção destes mapas, são utilizados métodos de interpolação espaciais (Gao et al., 2021), como a krigagem (Sokolchuk & Sokáč, 2022), inverso da distância ponderada (Xavier et al., 2011), splines (Yuyukin, 2022) e processos gaussianos (Khurjekar et al., 2023). A escolha destes métodos de interpolação é feita com base na avaliação da precisão de cada um deles. Ao final deste estudo, mapas de variabilidade espacial do pH serão produzidos com base em diferentes interpoladores espaciais, e sua precisão será avaliada para dar recomendações dos modelos mais precisos, ao mesmo tempo em que se analisa o impacto das diferentes práticas agrícolas na variabilidade do pH e se desenvolve um sistema de apoio à tomada de decisão.

1.2. Problematização

A preocupação com a insegurança alimentar e o aumento populacional contínuo tornou-se ainda mais premente nos países em desenvolvimento, particularmente nas economias da África Subsaariana (O. Aiyedogbon et al., 2022). Adicionalmente, o frágil avanço económico, a disparidade de género, a produtividade reduzida nas culturas, as mudanças climáticas e a corrupção emergem como os principais desafios para garantir a segurança alimentar na região da África Subsaariana (Akinbode et al., 2022). Por outro lado, uma das componentes que tem retardado a agricultura é a urbanização, que está aumentando impulsionada pelo aumento demográfico, o que leva à perda de terras agrícolas, direta e indiretamente, pressionando os agricultores devido à redução das áreas disponíveis para a produção (Beckers et al., 2020). Isso tem um impacto negativo nas atividades agrícolas, pois leva à degradação do solo devido à sobrepressão no cultivo (Karaman et al., 2022), podendo influenciar no pH. Não só isso, o aumento da acidez do solo resultante da poluição e das práticas agrícolas tem intensificado a degradação da terra, representando uma ameaça significativa para a segurança alimentar global, o clima e a sustentabilidade ambiental (Benke et al., 2022). Isso deve-se ao facto de que o pH do solo influencia na disponibilidade de nutrientes para as plantas (Barrow & Hartemink, 2023), sendo uma ferramenta crucial na identificação de possíveis deficiências nutricionais. Certas

práticas agrícolas, como o uso excessivo ou inadequado de fertilizantes químicos, podem alterar adversamente o pH do solo, tornando-o mais ácido ou alcalino (Rivera et al., 2018).

De modo a ultrapassar esses problemas, deve-se elaborar mapas de prescrição para a correção dos solos, considerando a variabilidade espacial dos factores de produção e viabilizando a aplicação das quantidades necessárias em cada ponto, o que fortalece os princípios da agricultura sustentável e permite a aplicação de insumos em taxas variadas (Molin et al., 2006). Contudo, na produção destes mapas, usa-se a interpolação espacial, que é o acto de estimar valores em locais desconhecidos na base de valores de locais conhecidos (Zhan et al., 2023). Todavia, existem diversos métodos de interpolação espacial aplicados que dependem da eficácia de cada um deles.

Conhecer a variabilidade espacial do pH do solo é crucial para a eficiência da fertilização e produtividade agrícola. No entanto, essa heterogeneidade pode desafiar os agricultores na determinação das taxas de aplicação de fertilizantes, levando a desperdício de insumos e menor eficiência produtiva pela aplicação inadequada de fertilizantes. Surge, desta forma, a necessidade de produzir mapas de prescrição de fertilizantes com base na interpolação espacial, oferecendo uma ferramenta precisa e confiável para o zoneamento da aplicação de fertilizantes em diferentes taxas, a fim de evitar a exaustão e degradação dos recursos do solo devido a uma aplicação inadequada de fertilizantes. Assim, este estudo é proposto com o objectivo final de responder à seguinte pergunta: **Qual é o método de interpolação espacial mais eficaz no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio a aplicação a taxas variadas de fertilizantes?**

1.3. Justificativa

A variabilidade do pH do solo desempenha um papel fundamental na disponibilidade de nutrientes para as plantas, na actividade microbiana do solo e na eficácia dos fertilizantes aplicados (Barrow & Hartemink, 2023; Zhang et al., 2022). A compreensão dessa variabilidade é essencial para garantir que as práticas agrícolas sejam adaptadas às necessidades específicas de cada área, levando em consideração factores como a textura do solo, a matéria orgânica presente e a presença de minerais (Sani et al., 2023; Tomaz et al., 2022). Ao considerar a aplicação de fertilizantes em taxas variadas, é crucial identificar as áreas que requerem correção do pH do solo e determinar a quantidade adequada de correctivos a serem aplicados. Isso não apenas maximiza a eficiência no uso de insumos agrícolas, reduzindo os custos para os agricultores, mas também minimiza o risco de impactos ambientais negativos, como a

lixiviação de nutrientes para as águas subterrâneas e a contaminação dos cursos de água (Uwiragiye et al., 2023; Barlóg et al., 2022). Portanto, um estudo comparativo da eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio à aplicação a taxas variadas de fertilizantes é crucial para garantir uma gestão agrícola mais precisa e eficaz (Ahmad et al., 2018; King et al., 2022).

A interpolação espacial é uma técnica que permite estimar valores desconhecidos em locais não amostrados com base em dados amostrais (Dipakkumar Pandya et al., 2022; Zhan et al., 2023; Zhang, 2022). Existem vários métodos de interpolação espacial disponíveis, como krigagem (Sokolchuk & Sokáč, 2022), inverso da distância ponderada (Xavier et al., 2011) splines (Yuyukin, 2022) e processos gaussianos (Khurjekar et al., 2023). Cada método tem suas vantagens e limitações, e a escolha do método adequado pode afetar significativamente a precisão dos mapas de variabilidade espacial do pH do solo. Ao desenvolver um sistema de apoio à decisão para a aplicação a taxas variadas de fertilizantes correctivos da acidez do solo, é essencial escolher o método de interpolação espacial mais adequado. Um estudo comparativo abrangente poderá fornecer informações valiosas para os agricultores e os profissionais da área agrícola, permitindo-lhes tomar decisões mais informadas e sustentáveis sobre a aplicação de fertilizantes. Além disso, a correlação entre a variabilidade do pH do solo e as diferentes práticas agrícolas na região de estudo também é um aspecto importante a ser considerado. Diferentes práticas agrícolas, como o tipo de cultura cultivada, a rotação de culturas e o uso de práticas de conservação do solo, podem influenciar a variabilidade do pH do solo. Compreender essas relações pode ajudar a otimizar ainda mais a aplicação de fertilizantes e a promover práticas agrícolas mais sustentáveis.

Portanto, um estudo comparativo da eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo, combinado com uma análise da correlação entre essa variabilidade e as práticas agrícolas, é fundamental para garantir uma gestão mais eficiente dos recursos agrícolas e promover a sustentabilidade ambiental. Assim, o estudo proposto tem grande relevância tanto para a comunidade local quanto para a comunidade académica. Para a comunidade local, a pesquisa fornecerá informações valiosas para os agricultores sobre como otimizar a aplicação de fertilizantes de acordo com a variabilidade do pH do solo, o que pode resultar em economia de custos e redução dos impactos ambientais negativos. Além disso, a implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis pode levar a benefícios económicos e ambientais a longo prazo para a região. Para a comunidade académica, o estudo contribui para o avanço do conhecimento no campo da agricultura de precisão e da gestão sustentável dos recursos agrícolas. Os resultados podem ser publicados em revistas

científicas e apresentados em conferências, contribuindo para o desenvolvimento teórico e prático da área.

Por outro lado, o estudo pode ter um impacto significativo do ponto de vista socioeconómico. A implementação de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis pode resultar em aumento da produtividade e da rentabilidade para os agricultores, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais negativos. Além disso, a adoção de tecnologias de agricultura de precisão pode melhorar a qualidade dos alimentos produzidos e contribuir para a segurança alimentar da região. Em um contexto mais amplo, essas práticas podem servir como exemplo e incentivo para a adoção de métodos mais sustentáveis em outras regiões, contribuindo para a promoção da agricultura sustentável em todo o mundo.

1.4. Objectivos de estudo

A variabilidade do pH do solo desempenha um papel fundamental na disponibilidade de nutrientes para as plantas, na actividade microbiana do solo e na eficácia dos fertilizantes aplicados. Uma compreensão abrangente dessa variabilidade é essencial para garantir que as práticas agrícolas sejam adaptadas às necessidades específicas de cada área, levando em consideração factores como a textura do solo, a matéria orgânica presente e a presença de minerais. Ao considerar a aplicação de fertilizantes em taxas variadas, é crucial identificar as áreas que requerem correcção do pH do solo e determinar a quantidade adequada de correctivos a serem aplicados. Isso não apenas maximiza a eficiência no uso de insumos agrícolas, reduzindo os custos para os agricultores, mas também minimiza o risco de impactos ambientais negativos, como a lixiviação de nutrientes para as águas subterrâneas e a contaminação dos cursos de água. Assim, ao analisar e comparar os diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade do pH do solo, este estudo visa fornecer aos agricultores informações cruciais para uma gestão mais precisa e eficaz de seus recursos agrícolas, promovendo ao mesmo tempo práticas agrícolas mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis. Assim, para o alcance deste propósito, este estudo tem como objectivos os seguintes:

1.4.1. Objectivo geral

- Comparar a eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio a aplicação a taxas variadas de fertilizantes;

1.4.2. Objectivos específicos

- Determinar o pH do solo em diferentes pontos amostrais na área de estudo;
- Mapear e comparar a precisão dos mapas de variabilidade espacial do pH do solo na base dos diferentes métodos de interpolação espacial;
- Relacionar a variabilidade do pH do solo com as necessidades ideais para o desenvolvimento das diferentes culturas;

1.5. Hipóteses

Para este estudo avança-se com as seguintes hipóteses:

- **Hipótese nula (H0): $\mu = 0$:** O uso de diferentes métodos de interpolação espacial não resulta em diferenças significativas em sua eficácia no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo.
- **Hipótese alternativa (H1): $\mu \neq 0$:** O uso de diferentes métodos de interpolação espacial pode resultar em diferenças significativas em sua eficácia no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo, onde pelo menos um método se apresentará mais eficaz.

1.6. Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se estruturado em seis sessões apresentadas da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução: Nesta seção é apresentado o tema do estudo, sua relevância e os objectivos a serem alcançados. Além disso, é feita uma contextualização do problema de pesquisa e uma breve visão geral da estrutura do trabalho, delineando o conteúdo de cada capítulo subsequente.

Capítulo 2 - Revisão de literatura: Aqui, se realizará uma revisão detalhada e crítica da literatura existente sobre o tema de estudo. Isso inclui a apresentação e análise de estudos anteriores, teorias relevantes, modelos conceituais e abordagens metodológicas utilizadas por outros pesquisadores. Esta seção serve também para embasar teoricamente o trabalho, fornecendo um contexto para o estudo actual e identificando lacunas no conhecimento existente.

Capítulo 3 - Materiais e métodos: Nesta seção descreve-se detalhadamente os materiais e métodos utilizados na condução do estudo. Isso inclui informações sobre a área de estudo, os dados colectados, os procedimentos de amostragem, os instrumentos ou equipamentos utilizados, e os métodos de análise empregados, garantindo assim a replicabilidade do estudo e a validade dos resultados obtidos.

Capítulo 4 - Resultados, análise e discussão: Aqui, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação dos métodos descritos na sessão de materiais e métodos. Os resultados são analisados em relação aos objectivos do estudo e às hipóteses levantadas, utilizando-se de ferramentas estatísticas e gráficos quando apropriado. Além disso, esta seção inclui uma discussão aprofundada dos resultados, interpretando suas implicações teóricas e práticas, comparando-os com estudos anteriores e identificando possíveis limitações do estudo.

Capítulo 5 - Conclusões, recomendações e inovação: Aqui, são apresentadas as conclusões gerais do estudo, resumindo os principais resultados e suas implicações para a teoria e para a prática. Além disso, são fornecidas recomendações para pesquisas futuras com base nas descobertas do estudo actual, destacando possíveis áreas de inovação e desenvolvimento. Esta seção também inclui reflexões sobre a relevância do estudo para a comunidade académica e para o campo de estudo em questão.

Referências bibliográficas: Por fim, nesta seção, são todas as fontes de referência citadas ao longo do trabalho, seguindo um formato específico APA 6ª Edição em uso na Universidade Católica de Moçambique, garantindo assim a credibilidade e a integridade académica do trabalho, permitindo que os leitores identifiquem e consultem as fontes utilizadas.

CAPÍTULO II: REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Situação actual da produção agrícola

Nos últimos anos, a produção agrícola global aumentou para atender à crescente demanda de uma população em expansão. Em 1970, com 3,693 bilhões de pessoas, a produção de grãos foi de 1,225 bilhões de toneladas, enquanto em 2005, com 6,453 bilhões de pessoas, a produção subiu para 2,219,4 bilhões de toneladas, apesar da diminuição da área colhida per capita. Isso reflete avanços na produtividade agrícola (Scolari, 2006).

Atualmente, a produção agrícola mundial enfrenta uma série de desafios e oportunidades complexas, com uma população global em constante crescimento e uma crescente demanda por alimentos, a pressão sobre os sistemas agrícolas é intensificada, um dos principais desafios é a questão da segurança alimentar (Jahan, & Phalke, 2022).

Milhões de pessoas em todo o mundo ainda sofrem com fome e desnutrição devido aos desafios globais da pandemia COVID-19 e outras crises, como o conflito na Ucrânia. Essas crises ameaçam o progresso na erradicação da desnutrição e desviam o mundo do caminho certo para alcançar a meta de eliminar a fome e a subnutrição até 2030 (Bashari, 2023). Além disso, as mudanças climáticas estão causando impactos significativos na produção agrícola, com eventos climáticos extremos, como secas, inundações e ondas de calor, afectando as safras e reduzindo a produtividade em várias regiões (McCouch & Rieseberg, 2023; Mwangi, 2023).

Outro aspecto importante é a sustentabilidade ambiental da agricultura. O uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, a perda de biodiversidade, a degradação do solo e a escassez de água são questões urgentes que precisam ser abordadas para garantir a viabilidade a longo prazo da produção de alimentos (Adedibu, 2023; Saikanth et al., 2023b). A agricultura familiar, que é o modo de produção agrícola predominante em Moçambique, tem potencial para enfrentar estes desafios se for dotada do apoio necessário, tais como a assistência agro-tecnológica e infra-estruturas, no entanto, o acesso ao crédito rural e às tecnologias melhoradas de produção agrícola continua a ser baixo para as pequenas e médias explorações agrícolas em Moçambique (Guina et al., 2023; Gobeia & Gobeia, 2022).

2.2. Principais culturas produzidas em Moçambique

As principais culturas produzidas em Moçambique são Feijões, arroz, mandioca, cana-de-açúcar, coco, gergelim, girassol, e milho (Charrua et al., 2021; Nascente et al., 2017; Maure et al., 2012). Por outro lado, o (MADER, 2021), afirma que nas diversas explorações agrícolas,

as principais culturas cultivadas incluem milho, arroz, mapira, amendoim pequeno, feijão nhemba, feijão bóer, mandioca, algodão e cana-de-açúcar. O milho é cultivado em grande parte das explorações (83.8%), seguido por amendoim pequeno (23.6%), mapira (18.3%), arroz (12.8%) e mexoeira (3.8%). **As tabelas 1. e 2** indicam a área produzida e o rendimento por província em hectare das principais culturas, respectivamente.

Tabela 1. Área produzida por província em hectares das principais culturas

Culturas	Área produzida por província em hectares (há)									
	Niassa	Cabo Delgado	Nampula	Zambézia	Tete	Manica	Sofala	Inhambane	Gaza	Maputo
Milho	125244	146766	176894	377159	434052	273179	366678	68101	257572	60717
Arroz	5832	19188	20275	94083	668	1367	120247	1186	20584	490
Mandioca	8391	41519	217,684	166,905	8,712	10,087	15,376	30,331	40,097	16,992
Feijões	59683	89285	227263	392940	151867	48100	46514	44211	67871	16967
Amendoim	8297	29538	105894	39022	42057	17765	18278	44960	25636	15117
Gergelim	9,774	35,259	36,154	46,326	101,903	25,247	25,676	1,398	1,869	307
Soja	2,518		130	33,949		20,205	8,833	93	105	
Algodão	24,726	27,780	80,158	97	574	1,090	443	50		
Castanha										

Tabela 2. Rendimento por província em toneladas das principais culturas

Culturas	Produção por província em toneladas (Ton)									
	Niassa	Cabo Delgado	Nampula	Zambézia	Tete	Manica	Sofala	Inhambane	Gaza	Maputo
Milho	132,772	100,685	165,681	267,114	461,394	220,281	184,878	15,885	64,763	18,868
Arroz	2,950	9,201	22,331	42,861	183	475	40,719	270	17,757	496
Mandioca	88,020	526,288	2,515,703	1,936,009	97,486	83,830	144,777	251,773	173,993	207,784
Feijões	19683	9850	110263	95941	38861	9461	8543	1032	1025	785
Amendoim	1578	9985	46034	8691	11468	5596	5468	5493	4773	3872
Gergelim	4,122	15,988	17,635	25,320	11,492	10,233	39,809	290	111	38
Soja	2,050	0	235	29,082	16,503	3,646	0	243	0	0
Algodão	6,977	7,780	15,800	50	468	154	344	1	0	0
Castanha	15	24,386	66,334	14,554		3,331	3,768	18,474	12,208	329

2.2.1. Cultura alimentares

2.2.1.1. Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta gramínea da família Poaceae, amplamente reconhecida como uma cultura de cereal e cultivada extensivamente em diversas partes do mundo (Dias et al., 2022; García-Lara & Serna-Saldivar, 2019). Portanto, o milho é um cereal de grande importância mundial, com uma história rica e inúmeras aplicações, originário da Mesoamérica há cerca de 10000 anos, ele se disseminou rapidamente pelo planeta e atualmente é amplamente cultivado para uso alimentar, animal e industrial (García-Lara & Serna-Saldivar, 2019), sendo uma planta do Reino: Plante, Divisão: Magnoliophyta, Classe: Liliopsida, Ordem: Poales, Família: Poaceae, Subfamília: Panicoideae, Tribo: Maydeae, Género: *Zea*, Espécie: *Zea mays* L., (Kwiatkowski & Clemente, 2007). Em Moçambique, a área cultivada (em hectares), especificamente nas pequenas e médias explorações agrícolas dedicadas ao cultivo de milho está estimada em cerca de 2.286.362 hectares, e em termos de rendimento, está estimado em 1.632.321 toneladas (MADER, 2021). As temperaturas ideais para o cultivo do milho variam entre 10°C (mínima), 25-30°C (ótima) e 42°C (máxima). Temperaturas elevadas durante a noite, se mantidas por longos períodos, podem reduzir o rendimento de grãos (Cruz et al., 2011). A máxima produtividade do milho é alcançada quando o consumo de água ao longo de todo o ciclo varia entre 500 e 800 mm, bem distribuídos (Cruz et al., 2011). O milho prospera melhor em solos como os argiloso-arenosos, a faixa ideal de pH para seu cultivo está entre 5,5 e 7,0 (Oliveira et al., 2020; Santos & Lima, 2021). Ao longo do ciclo de crescimento, o milho pode influenciar o pH do solo, a absorção de nutrientes como o nitrogênio, especialmente na forma de nitrato, tem o efeito de acidificar o solo, além disso, o uso de fertilizantes à base de amônio pode diminuir o pH, especialmente em solos naturalmente ácidos (Almeida & Lima, 2020; Santos & Ferreira, 2021). Diversos insectos são mencionados como pragas entre eles, destacam-se os cupins, o percevejo-castanho (*Scaptocoris castaneum*), a larva-alfinete (*Diabrotica speciosa* e provavelmente outras espécies de *vaquinhas*), a larva-angorá (*Astylus spp.*), o bicho-bolo ou coró (*Phyllophaga spp.*, *Cyclocephala spp.*), e a larva-aramé (*Melanotus spp.* e outros géneros), entre outros (Coelho & de França, 1995). Por outro lado, a lagarta-elasma, juntamente com a lagarta do funil esta reduz na produtividade superiores a 30%, está se tornando uma das principais pragas do milho em campo, (Coelho & de França, 1995). Atualmente, o milho é o cereal mais produzido no mundo, superando o arroz e o trigo há cerca de 10 anos devido ao desenvolvimento de variedades de alto rendimento e à sua adaptação a diversos ecossistemas (García-Lara & Serna-Saldivar, 2019). Nos países desenvolvidos, mais de 85% do milho é utilizado para alimentação animal, enquanto na agricultura de subsistência, é uma cultura

alimentar básica (García-Lara & Serna-Saldivar, 2019). Portanto, o milho em Moçambique é uma das culturas económicas mais importantes e um alimento fundamental, contudo, apesar de sua relevância no país, a produtividade do milho permanece baixa devido a diversos factores, como a baixa adoção de tecnologias agrícolas avançadas (McNair et al., 2015). As práticas agrícolas para a produção de milho em Moçambique incluem a agricultura de conservação (CA), que foca na minimização da perturbação do solo, na retenção de resíduos das culturas e na adoção do consórcio ou rotação de culturas (Chichongue, 2022; McNair et al., 2015; Kidane, 2015).

2.2.1.2. Arroz

O arroz é uma planta da família das gramíneas, do género *Oryza*, que possui cerca de vinte espécies, sendo a mais cultivada a *Oryza sativa*, o grão é composto pelo tegumento, que envolve a semente e está diretamente ligado ao pericarpo, uma membrana que envolve o fruto. O pericarpo é cercado pelas glumelas, pela lema e pela pálea, que formam a casca e são removidas durante o beneficiamento, o arroz é constituído principalmente por carboidrato e contém proteínas, lipídios, vitaminas e minerais (Abastecimento, 2015). Sendo uma planta do Reino: Plantae; Divisão: Magnoliophyta; Classe: Liliopsida; Ordem: Poales; Família: Poaceae; Género: *Oryza*; Espécie: *Oryza sativa* L (Vaughan et al., 2003). Em Moçambique, a área cultivada com arroz em pequenas e médias explorações agrícolas é estimada em aproximadamente 283.929 hectares, com uma produção total estimada em 137.243 toneladas (MADER, 2021). As temperaturas ideais variam de 20°C a 35°C, com 30°C a 33°C sendo ideal para a floração e 20°C a 25°C para a maturação (Abastecimento, 2015). No entanto, os índices pluviométricos no estado são bastante elevados, variando entre 2250 mm e 2750 mm anuais, (Abastecimento, 2015). Os solos apropriados para a produção de arroz geralmente possuem texturas argilosas, o que contribui para uma má drenagem. Essa característica promove uma alta retenção de água, essencial para o cultivo do arroz. Essa combinação de propriedades cria um ambiente ideal para o crescimento vigoroso do arroz (Asadu et al., 2023). Embora a cronologia de ocorrência dessas pragas varie, as espécies mais importantes são praticamente as mesmas em todos os sistemas de cultivo (Hickel, 2022). O arroz pode ser cultivado em diversos tipos de solo, mas os melhores resultados são obtidos em solos argilosos com boa capacidade de retenção de água, típicos de áreas alagadas ou irrigadas. O pH ideal para o cultivo do arroz está entre 5,5 e 6,5 (Almeida & Vieira, 2019; Freitas et al., 2022). Quando o arroz é cultivado em áreas alagadas, pode ocorrer uma redução temporária no solo, o que aumenta o pH e torna o ambiente mais alcalino devido à redução de iões de ferro e manganês. No entanto, após o solo

secar, o pH tende a diminuir novamente. A aplicação de fertilizantes e a decomposição da matéria orgânica também contribuem para a acidificação do solo a longo prazo (Souza & Nascimento, 2019; Freitas et al., 2021). As principais pragas do arroz incluem a Bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*), caramujos (*Pomacea* spp. e *Biomphalaria tenagophila*), a Lagarta-militar (*Spodoptera frugiperda*), o Percevejo-do-colmo (*Tibraca limbativentris*), a Sogata (*Tagosodes orizicolus*) e a Broca-do-colo (*Ochetina uniformis*). Além dessas, a Mosca-minadora (*Hydrellia* spp.), o Percevejo-do-grão (*Oebalus* spp.), a Lagarta-das-panículas (*Pseudaletia* spp.), e outras pragas, como o Pulgão-da-raiz e a Broca-da-cana, causam danos significativos à cultura, reduzindo a produtividade e aumentando os custos de manejo (Hickel, 2022). O cultivo de arroz possui uma importância global significativa, servindo como alimento básico para mais de metade da população mundial, essa importância é especialmente notável na Ásia, onde 90% do arroz é cultivado e consumido (Al-hashimi, 2023; Mohidem et al., 2022; Yadav et al., 2020; Dhankar et al., 2020), não só também, desempenhando um papel fundamental na segurança alimentar e nutrição ao fornecer nutrientes vitais, como calorias, vitaminas e minerais (Zhang et al., 2020). As práticas agrícolas relacionadas à produção de arroz em Moçambique envolvem a agricultura de subsistência, agricultura especializada em arroz, agricultura mista e agricultura combinada com pecuária. Cada sistema é influenciado por fatores como a experiência dos agricultores, a disponibilidade de mão-de-obra e a proximidade aos campos de cultivo (Ismael et al., 2021).

2.2.1.3. Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta tropical cujas raízes tuberosas são uma importante fonte de amido na África, América Latina e Ásia (Tokunaga et al., 2020). Portanto, a mandioca possui uma vasta diversidade genética, predominantemente concentrada na América Latina e no Caribe (Guimarães et al., 2019), ela é uma cultura importante, reconhecida pela diversidade de suas variedades e seu alto valor nutricional, sendo amplamente cultivada em áreas tropicais e subtropicais (Barata et al., 2021; Ogoto, 2018; Tokunaga et al., 2020). Ela pode ser cultivada em solos de baixa fertilidade e em áreas com chuvas limitadas e/ou imprevisíveis, onde outras plantas não sobreviveriam (Tokunaga et al., 2020). As plantas de mandioca são propagadas vegetativamente por meio do plantio de estacas de caule lignificadas (20-30 cm de comprimento) (Tokunaga et al., 2020). Pertencente ao Reino: Plantae, Divisão: Magnoliophyta, Classe: Magnoliopsida (ou Dicotyledoneae), Ordem: Laurales, Família: Lauraceae, Gênero: Aniba, Espécie: *Manihot esculenta* Crantz (Nassar & Ortiz, 2010). Em Moçambique, a área cultivada com mandioca em pequenas e médias propriedades agrícolas

resultam em uma área estimada em 556093 hectares e uma produção total aproximada de 6.025.663 toneladas (MADER, 2021). Sendo uma cultura que se adapta a regiões com clima tropical e subtropical, requerendo precipitação anual bem distribuída entre 600 e 1200 mm e uma temperatura média de 25 °C (Talma et al., 2013). Temperaturas abaixo de 15 °C prejudicam o desenvolvimento da mandioca (Matos et al., 2019), que pode ser cultivada em altitudes de até mil metros e é tolerante à seca, adaptando-se a diversas condições climáticas e tipos de solo (Homma et al., 2014). Preferindo solos arenosos, a mandioca proporciona melhores condições para raízes uniformes e bem estruturadas, facilitando a colheita (Homma et al., 2014). Embora seja tolerante à acidez, a mandioca é sensível a pH elevado e solos salinos, não apresentando aumento significativo na produção com doses maiores de calcário, preferindo solos com pH entre 5,5 e 6,5, mas tolerando levemente ácidos (Santana et al., 2018; Silva & Moura, 2020; Ribeiro et al., 2021). Apesar de adaptada a solos pobres, a planta pode causar leve acidificação do solo ao absorver potássio e cálcio (Silva & Ribeiro, 2020; Almeida & Carvalho, 2021). As principais pragas da mandioca incluem o Mandarová (*Erinnys ello*), os ácaros (especialmente o ácaro-verde - *Mononychellus tanajoa*), a mosca-branca, cupins e formigas (*Atta* spp. e *Acromyrmex* spp.), além das brocas-do-caule (Homma et al., 2014). A mandioca é uma fonte de carboidratos essencial para muitas populações de baixa renda em países tropicais, sendo considerada uma cultura rústica ou “de fundo de quintal” (SEBRAE, 2012). As raízes são importantes para 800 milhões de pessoas e podem ser consumidas frescas ou processadas (Barrozo et al., 2019), com as folhas contribuindo para a alimentação na África, ajudando a combater a desnutrição (Barrozo et al., 2019). No Moçambique, onde é chamada de “cadioca”, a mandioca é cultivada com práticas como Agricultura de Conservação (CA), visando melhorar a fertilidade do solo e aumentar os rendimentos (Chichongue et al., 2020), embora a adoção dessas práticas varie entre pequenos agricultores devido a fatores como tamanho da família e posse de animais (Famba et al., 2011).

2.2.1.4. Feijões

As culturas de feijão, especialmente o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), são leguminosas essenciais amplamente cultivadas em regiões como o Brasil, África Oriental, Central e Austral, e em todo o mundo, devido ao seu alto valor nutricional, adaptabilidade e aceitação social (Domingues et al., 2018; Lunze et al., 2012; Smýkal et al., 2015). Essas culturas são fundamentais para fornecer proteínas alimentares essenciais, fibras e rendimentos a milhões de pessoas, especialmente aos pequenos agricultores com áreas de cultivo restritas (Siddiq & Uebersax, 2013). As leguminosas, como o feijão é uma planta herbácea, pertencente à família

Fabaceae (Jorge Ali Ussene, 2023; Nadeem et al., 2021), e constituem uma parte importante da produção agrícola global e do consumo de proteínas na alimentação (Assefa et al., 2019). O feijão vulgar, ele pode ser classificada como sendo uma planta Reino: Plantae, Filo: Magnoliophyta, Classe: Magnoliopsida, Ordem: Fabales, Família: Fabaceae, Gênero: Phaseolus, Espécie: *Phaseolus vulgaris* (Heywood, 2007). Em Moçambique, as pequenas e médias propriedades agrícolas dedicadas ao cultivo de feijões produzem aproximadamente em áreas para o Feijão-manteiga: 123442 hectares, Feijão-nhemba: 348272 hectares, Feijão-jugo: 47563 hectares, Feijão-bóer: 269885 hectares, Feijão-verde: 2593 hectares, Feijão-holoko: 70869 hectares, outros tipos de feijões: 23181 hectares, e em termos de rendimento o Feijão-manteiga: 65896 toneladas, Feijão-nhemba: 83450 toneladas, Feijão-jugo: 16526 toneladas, Feijão-bóer: 160000 toneladas, Feijão-holoko: 26172 toneladas, outros tipos de feijões: 15020 toneladas (MADER, 2021). A temperatura é um fator crítico para o cultivo de feijões, portanto, a faixa ideal para o crescimento dos feijoeiros varia entre 20°C e 30°C (Pedro Félix-Valencia et al., 2022). Temperaturas acima de 35°C ou abaixo de 10°C podem afetar negativamente a germinação e o desenvolvimento das plantas (Gonçalves et al., 2018). Estudos indicam que a cultura do feijão requer entre 300 a 600 mm de água ao longo de seu ciclo de crescimento, o (Pereira et al., 2014; de Marco et al., 2012). Estudos demonstram que o cultivo de feijão prospera em solos com uma textura mista de franco-silte e franco-arenoso, que possuem teor moderado de argila, pH neutro a ligeiramente ácido (Mayo-Prieto et al., 2021). O pH ideal está entre 5,5 e 6,5 (Menezes & Carvalho, 2021; Pereira et al., 2020). O feijão pode influenciar o pH do solo através do processo de fixação biológica de nitrogênio, que ocorre em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, embora a fixação de nitrogênio possa reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados, o processo de mineralização dos resíduos das plantas após a colheita pode acidificar o solo (Menezes & Santos, 2021; Lima et al., 2022). As culturas de feijão são frequentemente atacadas por diversas pragas, incluindo insetos como a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) (Stanghini et al., 2022), besouros-da-folha-do-feijão (*Ootheca spp.*) (Halerimana et al., 2022), pulgões-do-feijoeiro (*Aphis craccivora*), jassídeos (*Empoasca kerri*), moscas-brancas (*Bemisia tabacivora*), tripes (*Megalurothrips distalis*), *Helicoverpa armigera* e *Maruca vitrata* (M & Patel, 2022). Além disso, pragas como ácaros, mariposas do nabo, lagarta do algodão, percevejo da planta alfafa, gorgulho do feijão-caupo do sul, gorgulho da ervilha e besouro americano são conhecidas por infectar significativamente as culturas de feijão-mungo (Mahmudova, 2022). Entre os alimentos vegetais mais ricos em proteínas estão as leguminosas, que, quando cozidas, contêm entre 6% e 11% de proteína (Wander et al., 2010). As leguminosas incluem todos os tipos de feijões, além de lentilhas, ervilhas secas, fava,

tremoço, soja e grão-de-bico, portanto, os feijões são também ricos em carboidratos complexos (amido), fibra alimentar, vitaminas do complexo B, ferro, cálcio e outros minerais, além de compostos bioativos como inibidores de proteases, não só, eles contêm pequenas quantidades de lipídios, a maioria do tipo insaturado (Wander et al., 2010). Em Moçambique, no sudeste da África, o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) e as espécies de *Vigna* são alimentos básicos essenciais e uma importante fonte de proteína na dieta das populações locais, portanto, isso é especialmente verdadeiro para as pessoas que vivem em áreas rurais e não têm condições financeiras para incluir carne em suas refeições diárias (Charrua et al., 2021). A pesquisa em Moçambique ressalta a importância de integrar leguminosas, como feijão-comum e mucuna, com a criação de gado para melhorar a fertilidade do solo, isso é feito por meio da rotação de culturas, uso de culturas de cobertura e aplicação de estrume, o que, em última análise, reduz a dependência de insumos externos e aumenta a produtividade (Miguel et al., 2015). Além disso, a introdução de cultivares melhoradas das espécies *Phaseolus vulgaris* e *Vigna* em sistemas de consórcio com milho e leguminosas demonstrou beneficiar o rendimento, as dietas e a produtividade familiar com insumos mínimos, aumentando a resiliência dos pequenos agricultores diante de desafios como secas recorrentes (Charrua et al., 2021).

2.2.1.5. Amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.), uma espécie nativa do Brasil, foi descoberto pelos colonizadores portugueses na época do descobrimento, é uma espécie herbácea de cultivo anual, com porte geralmente ereto e pequeno, flores hermafroditas e frutos em forma de vagens que não se abrem naturalmente (Coelho, 2003). Ela pertence ao Reino: Plantae, Divisão: Magnoliophyta, Classe: Magnoliopsida, Ordem: Fabales, Família: Fabaceae, Gênero: *Arachis*, e Espécie: *Arachis hypogaea* L. Em Moçambique, as pequenas e médias propriedades agrícolas dedicadas ao cultivo de amendoim produzem aproximadamente em áreas 99091 hectares para o amendoim grande e 247473 hectares para o amendoim pequeno e um rendimento estimando em cerca de 26929 toneladas de amendoim grande e 76029 toneladas de amendoim pequeno (MADER, 2021). Temperaturas entre 32 °C e 34 °C são ideais para uma rápida e alta percentagem de germinação, ocorrendo em 4 a 5 dias, temperaturas abaixo de 18 °C reduzem o poder germinativo das sementes (Ferrari Neto et al., 2012; Nogueira & Távora, 2005). As temperaturas ótimas para o crescimento vegetativo do amendoim situam-se entre 25 °C e 35 °C. As necessidades hídricas variam de 450 a 700 mm ao longo do ciclo, portanto, a maior exigência hídrica ocorre durante o florescimento e a frutificação (Ferrari Neto et al., 2012; Cato et al., 2008). A cultura do amendoim desenvolve-se bem em solos arenosos devido à boa

drenagem e aeração, que favorecem o crescimento das raízes e a fixação de nitrogênio, no (Ferrari Neto et al., 2012; Nogueira & Távora, 2005). O pH ideal para a cultura está entre 6 e 6,5 (Santos et al., 1996). O amendoim tem um efeito relativamente neutro no pH do solo, especialmente quando comparado a outras leguminosas, no entanto, a mineralização da matéria orgânica proveniente dos restos culturais pode levar a uma ligeira acidificação ao longo do tempo, dependendo das condições do solo e do sistema de cultivo (Oliveira & Silva, 2020; Andrade & Lima, 2021). As principais pragas que afetam a cultura do amendoim incluem *Pangaeus bilineatus* (percevejo), *Aproaerema modicella* (mineiro das folhas do amendoim), *Spilosoma obliqua* (lagarta peluda da juta), *Elasmopalpus lignosellus* (broca menor do milho), *Spissistilus festinus* (cigarrinha de três cantos) e *Lachnosterna consanguinea* (larva branca) (Edde, 2022). Outras pragas significativas são o afídeo do amendoim (*Aphis craccivora*), o mineiro das folhas (*Stomopteryx nertara*), a broca-tronco (*Sphenoptera perotett camron*), a lagarta do tabaco (*Spodoptera litura*), a lagarta peluda vermelha (*Amsacta albistriga*), o percevejo verde (*Empoasca kerri*) e os tripes (*Scritothrips dorsalis*) (Nigude et al., 2018). Além disso, também se destacam lagartas peludas como *Spilarctia obliqua*, jassídeos como *Empoasca terminalis* e enroladores de folhas como *Anarsia ephippias* (Biswas, 2014). O amendoim é uma cultura de grande importância econômica devido ao seu alto valor nutritivo, portanto, as suas sementes podem ser processadas e utilizadas diretamente na alimentação humana, além de serem empregadas nas indústrias de conservas, confeitarias e na produção de biodiesel (de Azevedo et al., 2014). As sementes de amendoim contêm 48-50% de óleo de fácil digestão, utilizado para produzir um óleo saboroso, este óleo é amplamente usado em conservas, margarinas de alta qualidade, confeitaria e perfumaria. O amendoim é essencial na produção de mais de 60 produtos de confeitaria (Gulchehra, 2022). O cultivo de amendoim em Moçambique inclui práticas tradicionais como a colheita manual, secagem natural ao sol no campo ou em casa, armazenamento em sacos de ráfia e uma assistência técnica limitada (Maria-Salvador & Maurício-Cumbe, 2020).

2.2.2. Culturas de rendimento

2.2.2.1. Gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), pertencente à família Pedaliácea, é uma das plantas oleaginosas mais antigas e amplamente utilizadas pela humanidade, possuindo grande importância econômica a nível global (Bereta et al., 2021). Sua origem é considerada na África, onde a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum* é encontrada, enquanto na Ásia existe uma grande diversidade de formas e variedades das espécies cultivadas, atualmente, o

cultivo de gergelim abrange 71 países, principalmente na Ásia e na África (Arriel, 2006; de Medeiros et al., 2022). Pertencente ao Reino: Plantae (Plantas), Divisão: Magnoliophyta (Angiospermas), Classe: Magnoliopsida (Dicotiledóneas), Ordem: Lamiales, Família: Pedaliaceae, Gênero: *Sesamum* e Espécie: *Sesamum indicum* L. Em Moçambique, a área cultivada (em hectares), especificamente nas pequenas e médias explorações agrícolas dedicadas ao cultivo de gergelim está estimada em cerca de 283911 hectares, e em termos de rendimento, está estimado em 125038 toneladas (MADER, 2021). As temperaturas ideais estão entre 25 e 30°C, precipitação mínimo de 300 mm de água bem distribuída, sendo que a faixa ideal está em torno de 500 a 650 mm, (Silva et al., 2009; Cruz et al., 2019). A cultura de gergelim prefere solos profundos com textura franca, bem drenados e de boa fertilidade natural macro e micronutrientes, evitando solos salinos, os solos devem ter uma reação neutra, com pH próximo a 7, sendo que a planta não tolera pH abaixo de 5,5 ou acima de 8,0, sendo extremamente sensível à salinidade e à alcalinidade (Grilo & Azevedo, 2013). O cultivo do gergelim tende a reduzir o pH do solo, especialmente em áreas de solos arenosos com baixa capacidade tampão. A utilização de fertilizantes nitrogenados à base de amônio pode aumentar a acidificação do solo ao longo do tempo (Santos & Nogueira, 2019; Carvalho et al., 2020). Diversas pragas afetam a cultura do gergelim, destacando-se a Lagarta-enroladeira (*Antigastra catalaunalis*), que é a principal praga, atacando a planta na fase jovem. O pulgão (*Aphis* spp.) também causa danos significativos, especialmente em culturas irrigadas. A Cigarrinha-verde (*Empoasca* sp.) suga a seiva da planta, comprometendo seu desenvolvimento e a produção. Outras pragas, como lagartas do gênero *Spodoptera* ssp. e cochonilhas do gênero Pseudococcidae, são ocasionais e de menor importância econômica. A Mosca-branca (*Bemisia tabaci*) é uma praga amplamente presente em áreas agrícolas. Além disso, as formigas cortadeiras, como saúvas (*Atta* spp.) e quenquéns (*Acromyrmex* spp.), também atacam a cultura. (de Medeiros et al., 2022). O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma das primeiras espécies domesticadas pelo ser humano e, atualmente, está entre as dez principais oleaginosas do mundo, apresenta elevado valor nutricional para a alimentação humana e com propriedades medicinais, as sementes de gergelim são fontes de vitaminas do complexo B, ricas em minerais como cálcio, fósforo, magnésio, sódio, zinco e selênio não só, elas contêm cerca de 50% de óleo, composto por ácidos graxos insaturados, como oleico (40%) e linoleico (41%), além de substâncias antioxidantes, como sesamina, sesamolina e tocoferol, que conferem resistência à rancificação, portanto, a torta ou farelo de gergelim é rica em aminoácidos importantes, como metionina, cistina, arginina e leucina, tornando-se uma excelente fonte de proteínas (39%) (Queiroga et al., 2010).

2.2.2.2. Feijão bóer

O feijão bóer (*Cajanus cajan* L.) Millsp. é uma planta leguminosa que pode ser anual lenhosa ou perene (Akande et al., 2010; Gargi et al., 2022; Ganapathy et al., 2011; Gargi et al., 2022). Este género é nativo do antigo Egito, África, Ásia e América, e agora está amplamente distribuído nas regiões tropicais e subtropicais (Orni et al., 2018; Gargi et al., 2022; Kumar et al., 2017; Gargi et al., 2022; Schuster et al., 2016; Gargi et al., 2022). A Ásia é o principal produtor de feijão-bóer, portanto, com a Índia sozinha contribuindo com aproximadamente 77% da área total e 90% da produção mundial (Jeevarathinam & Chelladurai, 2020; Pande et al., 2011; Gargi et al., 2022). Sendo uma planta pertencente ao Reino: Plantae, Divisão: Magnoliophyta, Classe: Magnoliopsida, Ordem: Fabales, Família: Fabaceae, Género: *Cajanus*, Espécie: *Cajanus cajan* L. Em Moçambique, as pequenas e médias propriedades agrícolas dedicadas ao cultivo de do feijão bóer, elas produzem aproximadamente em áreas 269885 hectares e um rendimento estimando em cerca de 160000 toneladas (MADER, 2021). A temperatura ideal para o cultivo do feijão-bóer varia entre 18°C e 30°C (Kumar, 2020). O feijão-bóer é uma planta tolerante ao calor, mas períodos prolongados de temperaturas extremas podem afetar negativamente seu desenvolvimento (Rao et al., 2019). O feijão-bóer requer uma precipitação anual entre 600 mm e 1000 mm para um crescimento ideal (Singh, 2021). Em regiões onde a precipitação é insuficiente ou irregular, a irrigação suplementar é essencial para garantir a disponibilidade constante de água (Pathak et al., 2018). Portanto, o feijão-bóer prefere solos bem drenados com pH entre 5,0 e 7,0 (Verma et al., 2020). Além disso, a adição de matéria orgânica e fertilizantes ricos em fósforo pode melhorar a fertilidade do solo e aumentar a produção (Sharma et al., 2018). Assim como outras leguminosas, o feijão bóer participa da fixação biológica de nitrogênio, que geralmente tem um efeito positivo sobre o solo. No entanto, a mineralização dos restos culturais pode acidificar o solo a longo prazo, exigindo a aplicação de calcário para manter o pH dentro dos níveis adequados para o próximo ciclo de cultivo (Silva & Almeida, 2021; Pereira & Nascimento, 2020). As pragas representam um grande desafio no cultivo do feijão-bóer, com destaque para a Broca-do-Feijão (*Etiella zinckenella*), cujas larvas perfuram as vagens e consomem as sementes, resultando em perdas significativas na colheita. O controle inclui inseticidas e práticas culturais, como rotação de culturas e eliminação de resíduos de colheita (Singh et al., 2021; Patel et al., 2020). A Mosca-Branca (*Bemisia tabaci*) causa danos diretos ao sugar a seiva das folhas e transmite vírus graves, sendo controlada com o uso de inimigos naturais e óleo de neem (Kumar & Singh, 2019; Gupta et al., 2022). A Lagarta-Helicoverpa (*Helicoverpa armigera*) se alimenta de várias partes da planta, afetando a produção, e é manejada com armadilhas de feromônio, biopesticidas e inseticidas (Mishra et al.,

2018; Rao & Patel, 2017). Os Pulgões (*Aphis craccivora*) sugam a seiva, deformando as folhas e transmitindo vírus, sendo controlados com predadores naturais e inseticidas (Sharma & Kaur, 2020; Kumar, Verma et al., 2019). Os Ácaros (*Tetranychus* spp.) danificam as folhas, causando manchas e queda, com manejo por acaricidas e manutenção de umidade (Pandey et al., 2021; Rana et al., 2018). Os Nematóides de Galhas (*Meloidogyne* spp.) atacam as raízes, afetando a absorção de nutrientes, sendo controlados com solarização do solo, rotação de culturas e nematicidas (Khan et al., 2019; Chaudhary et al., 2020). O feijão-boer (*Cajanus cajan* L) é uma planta de significativa importância econômica e ecológica, portanto, dentre suas utilidades econômicas, destacam-se seu uso na alimentação humana, como forragem, planta ornamental, medicinal e para adubação verde, entre outras aplicações, em função do seu potencial de fixação de nitrogênio e recuperação da fertilidade do solo, as leguminosas (Fabaceae) representam uma alternativa viável para o suprimento, substituição ou complementação da adubação mineral, bem como para a recomposição da fertilidade do solo (de Aguiar & Lima, 2023).

2.2.2.3. Soja

A soja (*Glycine max* L.) é uma planta anual pertencente à família Fabaceae, reconhecida como uma das principais commodities globais, seu papel é fundamental tanto para a economia internacional, devido ao significativo retorno econômico e à versatilidade do grão, portanto, a soja é amplamente utilizada em diversas indústrias, incluindo cosméticos, farmacêutica, alimentação animal e humana, bem como na fabricação de materiais, entre outras aplicações (Favoreto et al., 2019; Oliveira et al., 2023). Uma planta pertencente ao Reino: Plantae, Divisão: Magnoliophyta, Classe: Magnoliopsida, Ordem: Fabales, Família: Fabaceae, Gênero: *Glycine* Espécie: *Glycine max* L. Em Moçambique, a área cultivada especificamente nas pequenas e médias explorações agrícolas dedicadas ao cultivo de soja está estimada em cerca de 65834 hectares, e em termos de rendimento, está estimado em 51759 toneladas (MADER, 2021). A soja é amplamente cultivada em regiões tropicais, subtropicais e temperadas quentes do mundo, pois ela cresce eficazmente em climas quentes e húmidos, sendo que uma temperatura entre 26°C e 30°C parece ser ideal para a maioria das variedades (Sri et al., 2020). O valor de pH indicado para a cultura da soja é 6,0. Por outro lado importa afirmar que um pH acima de 6,5 prejudica o crescimento da soja (Brignoli et al., 2020). A soja é uma leguminosa que promove a fixação biológica de nitrogênio, o que contribui para a redução da necessidade de fertilizantes nitrogenados. Contudo, o processo de decomposição dos resíduos culturais pode acidificar o solo ao longo do tempo (Vieira & Freitas, 2021; Souza & Ribeiro, 2020). As culturas de soja são frequentemente afetadas por várias pragas, incluindo uma variedade de insetos como

noctuídeos, *Tetranychus urticae*, besouros, pulgões, lagartas, gorgulhos e cigarrinhas. Esses insetos são conhecidos por causar danos significativos às plantas de soja, impactando a produtividade da cultura (Ergasheva & Makhmudova, 2023). Pragas lepidópteras, como *Anticarsia gemmatilis*, *Chrysodeixis includens*, *Helicoverpa armigera*, *Spodoptera cosmioides* e *Spodoptera frugiperda*, são conhecidas por reduzir a produtividade da soja na América do Sul. Essas espécies causam diferentes níveis de danos aos tecidos vegetativos e reprodutivos das plantas, comprometendo o rendimento da cultura (Carpane et al., 2022). Além disso, uma variedade de insetos-praga, incluindo gafanhotos, tripses, moscas-brancas, pulgões, minadores de folhas, besouros de folhas, *Spodoptera litura*, lagarta-peluda de Bihar, *Etiella zinckenella* e *Cydia ptychora*, foram identificados como ameaças significativas às culturas de soja em diferentes estágios de cultivo. Esses insetos representam um espectro diversificado de pragas que podem impactar negativamente a produção de soja (Pattar & Kandakoor, 2022). A soja desempenha um papel crucial em nível global devido à sua importância multifacetada. Ela é uma cultura fundamental, responsável por fornecer cerca de 25% do óleo comestível consumido mundialmente e uma grande parte do concentrado de proteína utilizado na alimentação de gado. Dessa forma, a soja contribui significativamente para a segurança alimentar global (Mishra et al., 2024). Além disso, a soja desempenha um papel crucial na fixação de nitrogênio (Zabarna & Chereschnyuk, 2023; Kang et al., 2023). As práticas agrícolas relacionadas à produção de soja em Moçambique incluem a utilização de inoculação eficaz com *Bradyrhizobium spp.*, que é essencial para promover a fixação biológica de nitrogênio. Além disso, a aplicação de fósforo e uma dose inicial de nitrogênio são práticas recomendadas para melhorar a nodulação, promover o crescimento das plantas e aumentar os componentes de rendimento da soja (Savala & Kyei-Boahen, 2020).

2.2.2.4. Algodão

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma planta perene que é cultivada como uma cultura anual (Daniel et al., 2021; Gonçalves & Gonçalves, 2008). Sendo uma planta pertencente ao Reino: Plantae, Divisão: Magnoliophyta (também conhecida como Angiospermae), Classe: Magnoliopsida (Dicotiledóneas), Ordem: Malvales, Família: Malvaceae, Gênero: *Gossypium* e Espécie: *Gossypium hirsutum* L. Em Moçambique, a área cultivada com algodão em pequenas e médias propriedades agrícolas é estimada em cerca de 134918 hectares, com uma produção total estimada em 31574 toneladas (MADER, 2021). A temperatura ideal para o cultivo de algodão varia de 24°C a 32°C (Júnior et al., 2020). Portanto o algodoeiro quer mais em solos com alto teor de argila e matéria orgânica melhoram a produção de algodão devido à sua

capacidade de reter água e nutrientes, portanto, micronutrientes como boro e zinco são essenciais para o desenvolvimento adequado da cultura (Mota et al., 2017). Portanto, foi determinado que o pH ideal para o cultivo de algodão varia entre 5,5 e 6,5 (Carvalho et al., 2020). O cultivo de algodão pode acidificar o solo, especialmente quando fertilizantes à base de nitrogênio são utilizados, pois o nitrato de amônio é frequentemente aplicado, o que pode contribuir para a acidificação gradual do solo, exigindo práticas de correção com calcário para manter o pH ideal para o crescimento da planta (Fernandes & Oliveira, 2021; Lima & Souza, 2020). A cultura do algodão é afetada por várias pragas que atacam diferentes partes da planta, como raízes, caule, folhas, botões florais e capulhos. As principais pragas incluem pulgões, tripés, mosca-branca, ácaros (rajado, vermelho, branco), percevejos (tingídeo, manchador, rajado), cochonilha, falsas medideiras, lagartas (do cartucho do milho, das maçãs, rosada), e o bicudo do algodoeiro. Além disso, outras pragas secundárias, como percevejos migrantes da soja, percevejo castanho, lagarta rosca e broca da raiz do algodão, também podem causar danos às plantações. O manejo adequado dessas pragas é essencial para garantir a saúde e a produtividade do algodão (Pereira & Albuquerque, 2006). O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma espécie de grande importância econômica em nível mundial pois o seu fruto é utilizado como matéria-prima na produção de óleo vegetal e ração animal, além de ser fundamental para a indústria têxtil, que é o principal destino comercial do algodão (Rossi et al., 2020; Vasconcelos et al., 2018). Para aumentar a produtividade, foram implementadas práticas de Gestão Integrada de Culturas (ICM), o que resultou na ampliação da área de cultivo de algodão, rendimentos mais elevados e uma redução no uso de pesticidas pelos agricultores (Musebe et al., 2017).

2.2.2.5. Castanha

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma árvore da família Anacardiaceae, caracterizada por troncos tortuosos, folhas glabras, e flores masculinas e hermafroditas. Seu pseudofruto, frequentemente confundido com o fruto verdadeiro, é o pedúnculo floral suculento, que pode ser amarelo ou vermelho (Mazzetto et al., 2009). Ela pertence ao Reino: Plantae (Plantas), Divisão: Magnoliophyta (Angiospermas), Classe: Magnoliopsida (Dicotiledóneas), Ordem: Sapindales, Família: Anacardiaceae, Gênero: *Anacardium* e Espécie: *Anacardium occidentale* L. Em Moçambique, a área cultivada (em hectares), especificamente nas pequenas e médias explorações agrícolas dedicadas ao cultivo de castanha de caju está estimado em 143399 toneladas (MADER, 2021). O cajueiro é uma planta de grande valor medicinal originária do Brasil, portanto, ela é encontrada principalmente em climas tropicais e subtropicais, sendo a

única espécie de seu gênero cultivada comercialmente, o cajueiro prospera em climas tropicais, necessitando de um regime pluviométrico anual entre 800 e 1.600 mm, distribuído por cinco a sete meses, a temperatura média anual mais adequada é de 27°C, essas condições favorecem o desenvolvimento saudável e a produção eficiente da planta (Limeira et al., 2022; Montenegro, 2007). A castanha adapta-se a solos arenosos a argilosos, com boa drenagem e pH entre 5,5 e 6,5 e ricos em nutrientes como fósforo e potássio garantem um melhor desenvolvimento e maior produção de castanha (Moura & Carvalho, 2020; Souza & Nascimento, 2021). A castanha-de-caju tem uma influência moderada sobre o pH do solo, ela se desenvolve bem em solos levemente ácidos, mas a contínua decomposição de matéria orgânica pode provocar uma leve acidificação (Moura & Carvalho, 2020; Santos & Nascimento, 2021). Os cajueiros enfrentam uma infinidade de pragas que podem causar danos significativos ao longo de vários estágios de crescimento. Insetos como os percevejos do chá (*Helopeltis spp.*), brocas do caule e da raiz (*Neoplocaederus spp.*, *Batocera rufomaculata*), mineiros de folhas, teias, lagartas, tripés, cochonilhas, pulgões e brocas da casca estão entre as principais pragas relatadas como afetando as culturas do caju (Adeniyi, 2023; Raviprasad & Vanitha, 2022). No entanto, além de ser consumido in natura, o caju possui um amplo potencial de aproveitamento na produção de polpas, sucos, néctares, refrigerantes, sucos clarificados e diversos tipos de doces, tanto em escala industrial quanto artesanal (Medeiros et al., 2012). A partir do fruto, que representa os 10% restantes do peso, é extraída a amêndoa da castanha de caju (ACC), rica em gorduras, proteínas, carboidratos, fósforo e ferro. Além disso, o líquido presente na castanha de caju (LCC) é uma matéria-prima valiosa para a fabricação de vernizes, tintas, plásticos, lubrificantes e inseticidas. A película da amêndoa também permite a extração de tanino, um produto com ampla aplicação na indústria química (Moura, 2009; Lima et al., 2011; Paiva et al., 2011; Barretto et al., 2014; Silva et al., 2022), portanto, essa espécie possui grande importância socioeconômica, gerando empregos, renda e impostos devido à industrialização de produtos derivados de seu fruto e pseudofruto. Todavia, a produção de castanha de caju em Moçambique enfrenta desafios como baixos rendimentos médios, necessidade de substituir árvores envelhecidas por porta-enxertos melhorados e aumento da pulverização antifúngica, portanto, esses fatores destacam a importância de práticas agrícolas modernizadas e investimentos em pesquisa para melhorar a produtividade e resistência das culturas (Costa & Delgado, 2019).

2.3. Desafios da agricultura em Moçambique

A agricultura em Moçambique enfrenta inúmeros desafios que impactam significativamente a produção. Estes desafios incluem instabilidade política sistêmica, divisões regionais, falta de

integração do mercado, baixa produtividade agrícola devido ao uso limitado de fertilizantes, solo arenoso infértil e práticas agrícolas defeituosas (Carrilho et al., 2023). A agricultura familiar em Moçambique, predominantemente de subsistência, é marcada pelo uso inadequado de tecnologias e enfrenta desigualdades no acesso a infraestruturas, além de políticas agrícolas inconsistentes (Marassiro et al., 2021; Guina et al., 2023). Além disso, restrições nas cadeias de valor dos fertilizantes, como desafios de liquidez, falta de conscientização sobre os benefícios dos fertilizantes e altos custos de transação, dificultam seu uso, contribuindo para a baixa produtividade agrícola (Zavale et al., 2020). No entanto, esses desafios impedem coletivamente o crescimento do setor, afetando a segurança alimentar, o desenvolvimento rural e os meios de subsistência dos pequenos agricultores em Moçambique. Enfrentar esses desafios é importante para aumentar a produtividade agrícola e garantir o desenvolvimento sustentável no país.

2.3.1. Pragas

Em Moçambique, as principais pragas agrícolas incluem a maior fura-de-grão (*Prostephanus truncatus*), que infesta o milho armazenado causando danos significativos e ameaçando a segurança alimentar (Muatinte & Cugala, 2015; Muatinte & Van Den Berg, 2022). Outra praga proeminente é a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), detectada em 2016, que causou perdas substanciais na produção de milho e levou os agricultores ao uso não treinado de inseticidas sintéticos, levantando preocupações ambientais e de saúde (Caniço et al., 2021; Caniço et al., 2020). Adicionalmente, a mosca-das-frutas *Bactrocera invadens* representa uma ameaça para a produção de frutas e hortaliças, com pesquisas focadas na dinâmica populacional, nos danos aos frutos e no estabelecimento de parasitoides para gerenciar seu impacto (Cugala et al., 2010). Compreender a influência de factores abióticos e bióticos nas populações de pragas, assim como o conhecimento e as práticas de gestão dos agricultores, é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle de pragas e para salvaguardar a produtividade agrícola em Moçambique.

2.3.2. Clima

O clima predominante em Moçambique é caracterizado por uma ampla gama de condições climáticas influenciadas por diversos fatores, como as monções do Oceano Índico, a corrente quente do Canal de Moçambique e os principais modos de variabilidade climática nos trópicos e subtropicais (Hachigonta et al., 2013). O país vivencia uma estação chuvosa de outubro a abril, tornando-se vulnerável a riscos climáticos como secas, inundações e ciclones tropicais. As maiores quantidades de precipitação e temperaturas atmosféricas são observadas durante a

estação de verão prolongada, com a região central sendo mais quente e chuvosa do que as regiões norte e sul (Sumila et al., 2023; Sumila et al., 2022).

2.3.3. Solos

Em Moçambique, os tipos de solo predominantes variam de acordo com as distintas regiões do país. Geralmente ácidos, esses solos são caracterizados por baixos teores de matéria orgânica e frequentemente apresentam deficiências ou excessos de diversos nutrientes (Pereira & Silva, 2024). Além disso, os solos em Moçambique geralmente apresentam baixa a moderada fertilidade. Suas propriedades incluem baixa capacidade efetiva de troca catiónica, níveis moderados de matéria orgânica, acidez que varia de moderada a forte, e uma capacidade de sorção de fósforo que vai de moderada a alta (Maria & Yost, 2006).

2.3.4. Influência dos solos na produção agrícola

Os solos desempenham um papel fundamental na produção agrícola, fornecendo os nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Componentes como minerais, incluindo quartzo, magnetita, e minerais argilosos, como montmorillonita e xisto clorito, influenciam significativamente a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade agrícola (Sotirov, 2024), portanto, Os nutrientes orgânicos e o carbono presentes no solo são indicadores essenciais da sua qualidade e saúde. Eles desempenham um papel crucial na produção, qualidade e rendimento das culturas, ao melhorar as propriedades do solo e favorecer um ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos benéficos (Hazarika et al., 2023).

2.3.4.1. Textura do Solo

A textura do solo refere-se à proporção de areia, silte e argila presentes no solo, influenciando a capacidade de retenção de água, aeração e drenagem. Solos arenosos, por exemplo, têm uma alta taxa de drenagem, o que pode limitar a disponibilidade de água para as plantas, enquanto solos argilosos retêm mais água, mas podem dificultar a aeração, no entanto, a textura adequada pode melhorar a penetração das raízes e a absorção de nutrientes, fatores essenciais para o crescimento das plantas (Brady & Weil, 2016).

2.3.4.2. Composição Nutricional

A composição nutricional do solo é outro fator determinante para a produção agrícola. Elementos essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, são necessários para o crescimento saudável das plantas. A deficiência de qualquer um desses nutrientes pode resultar em um

crescimento deficiente, afetando negativamente a produtividade, portanto, a gestão adequada dos nutrientes, por meio da fertilização e práticas de manejo do solo, é crucial para manter a fertilidade do solo e garantir rendimentos elevados (Marschner, 2012).

2.3.4.3. pH

O pH do solo também desempenha um papel importante na disponibilidade de nutrientes e na saúde das plantas. Variando de 0-14 (**Figura 1**) (Smith et al., 2020), um pH equilibrado facilita a absorção de nutrientes pelas plantas, enquanto pH muito ácido ou alcalino pode causar a indisponibilidade de certos nutrientes, prejudicando o crescimento das culturas, no entanto, o ajuste do pH do solo, geralmente por meio da aplicação de calcário ou enxofre, é uma prática comum para otimizar a produção agrícola (Havlin et al., 2014).

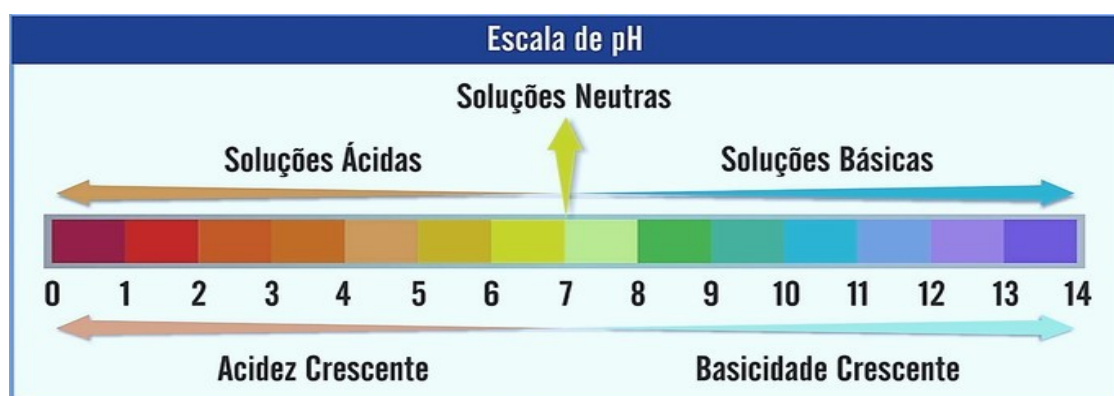


Figura 1. Escala de variação de pH

2.3.4.4. Influência das diferentes práticas agrícolas na qualidade do solo (física e química)

As práticas agrícolas têm um impacto profundo na qualidade do solo, influenciando tanto as suas propriedades físicas quanto químicas. A compactação do solo, causada por práticas como o uso intensivo de máquinas agrícolas e a falta de rotação de culturas, pode levar a uma redução significativa na porosidade do solo, dificultando a infiltração de água e a aeração. Isso compromete o desenvolvimento das raízes e a disponibilidade de água para as plantas, resultando em menor produtividade agrícola (Hamza & Anderson, 2005; Brady & Weil, 2016; Lal, 2015). Além disso, a erosão, um efeito comum do manejo inadequado do solo, pode remover as camadas superficiais mais férteis, ricas em nutrientes e matéria orgânica, agravando ainda mais a degradação do solo (Pimentel et al., 1995; Montgomery, 2007; Lal, 2003).

No aspecto químico, o uso excessivo de fertilizantes e pesticidas é uma prática que pode alterar negativamente a composição nutricional do solo. A salinização, um problema comum em áreas irrigadas inadequadamente, resulta do acúmulo de sais que afetam a estrutura do solo e a disponibilidade de água para as plantas (Szabolcs, 1994; Munns & Tester, 2008; Rengasamy,

2006). A acidificação do solo, frequentemente resultante da aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados, pode reduzir a disponibilidade de nutrientes essenciais e aumentar a toxicidade de metais pesados, comprometendo a saúde das culturas (Guo et al., 2010; Bolan et al., 2003; Marschner, 2012). A prática de monocultura, que esgota nutrientes específicos, pode ser mitigada por técnicas como a rotação de culturas e a adubação verde, que ajudam a restaurar o equilíbrio químico do solo (Tilman et al., 2002; Drinkwater et al., 1998; Bai et al., 2018).

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis é crucial para preservar a qualidade física e química do solo. A conservação do solo através de técnicas como o plantio direto e o uso de cobertura vegetal melhora a estrutura do solo e promove a retenção de água, essencial para a prevenção da erosão e para a manutenção da atividade biológica (Derpsch et al., 2010; Lal, 2004; Hobbs et al., 2008). Além disso, a redução no uso de agroquímicos, juntamente com práticas como a agroecologia e a agricultura orgânica, tem mostrado eficácia em melhorar a fertilidade do solo e em preservar sua saúde a longo prazo (Pretty, 2008; Altieri, 2004; Reganold et al., 2010). Essas abordagens não apenas sustentam a produtividade agrícola, mas também contribuem para a resiliência dos sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas e outros desafios ambientais (Smith et al., 2013; Rockström et al., 2017; Foley et al., 2011).

3.2.4.4. Relação entre a variabilidade do pH e práticas agrícolas

O pH do solo é uma medida da acidez ou alcalinidade do solo e desempenha um papel essencial na disponibilidade de nutrientes para as plantas, na atividade microbiana e na saúde do ecossistema como um todo (Ontman et al., 2022). Práticas agrícolas como a aplicação de fertilizantes e produtos químicos podem alterar significativamente o pH do solo, por exemplo, fertilizantes nitrogenados como a ureia podem aumentar a acidez do solo, enquanto a calagem é usada para neutralizar a acidez do solo, aumentando o pH (Zhang et al., 2016; Corbett et al., 2022). A rotação de culturas é uma prática comum na agricultura para melhorar a saúde do solo e reduzir problemas de pragas e doenças, culturas diferentes têm diferentes demandas nutricionais e, portanto, podem afectar o pH do solo de maneiras diferentes, algumas culturas podem liberar exsudatos radiculares que afectam a acidez do solo (Liu, 2023). O tipo de água usada para irrigação também pode influenciar o pH do solo. Águas com sais extremos podem alterar gradualmente o pH do solo ao longo do tempo, especialmente em regiões onde a irrigação é frequente (Castro et al., 2021). Práticas de conservação do solo, como a cobertura morta e a adição de matéria orgânica, podem ajudar a regular o pH do solo, mantendo-o dentro de faixas adequadas para o crescimento das plantas (Gagliardi et al., 2023). Portanto, as práticas agrícolas têm um impacto significativo na variabilidade do pH do solo. Compreender essa

relação é essencial para o manejo sustentável dos recursos naturais e para otimizar a produção agrícola, garantindo ao mesmo tempo a conservação do meio ambiente.

2.4. Variação do pH do solo e seu impacto no desenvolvimento das culturas

O pH do solo é um factor importante para o desenvolvimento das culturas, pois influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana. Pesquisa mostra que níveis de pH ideais (geralmente entre 6,0 e 7,5) favorecem a absorção de nutrientes, especialmente macronutrientes como nitrogênio e fósforo, essenciais para o crescimento das plantas (Rusmayadi & Safruddin, 2024), por outro lado, níveis extremos de pH podem resultar em deficiências de nutrientes ou toxicidades, impactando negativamente tanto o rendimento quanto a qualidade das culturas (Halilu Shaba et al., 2023).

2.4.1. Processo de correção do pH do solo

A correção do pH do solo é essencial para aumentar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas. Vários métodos e materiais têm sido desenvolvidos para ajustar eficazmente o pH do solo, particularmente em condições ácidas.

2.4.1.1. Calagem

A calagem é uma prática agrícola essencial para corrigir a acidez do solo e melhorar sua fertilidade. Solos ácidos são comuns em regiões tropicais, onde a alta precipitação contribui para a lixiviação de nutrientes básicos, como cálcio e magnésio, resultando em solos com pH baixo, portanto, a calagem atua aumentando o pH do solo, neutralizando o alumínio tóxico e fornecendo cálcio e magnésio, nutrientes fundamentais para o desenvolvimento das plantas (Raij & Quaggio, 2020; Sousa et al., 2019). Além de corrigir a acidez, a aplicação de calcário melhora a disponibilidade de fósforo, potássio e outros nutrientes para as plantas (Sousa et al., 2019; Caires et al., 2018). Quando o solo é excessivamente ácido, muitos desses nutrientes ficam indisponíveis para as culturas, limitando o crescimento das plantas. A aplicação adequada de calcário pode aumentar a produtividade agrícola ao otimizar a absorção de nutrientes pelas raízes (Caires et al., 2018; Raij & Quaggio, 2020). A dosagem correta de calcário depende de uma análise prévia do solo, levando em consideração o pH, a saturação por bases e o teor de alumínio (Raij & Quaggio, 2020; Sousa et al., 2019). Normalmente, o calcário é aplicado na superfície e incorporado ao solo por meio de aração e gradagem. A eficácia da calagem também depende do tipo de calcário utilizado (calcítico ou dolomítico) e do tempo de reação no solo (Sousa et al., 2019; Caires et al., 2018).

2.4.1.2. Adição de matéria orgânica

As cinzas, especialmente as de origem vegetal, são frequentemente utilizadas como fonte de matéria orgânica e nutrientes no solo. As cinzas resultantes da queima de resíduos vegetais contêm altos níveis de potássio, cálcio, magnésio e fósforo, além de micronutrientes essenciais como o zinco e o manganês, quando incorporadas ao solo, elas não apenas fornecem esses nutrientes, mas também ajudam a aumentar o pH do solo, devido à presença de compostos alcalinos, o que é benéfico para a correção de solos ácidos (Melo & Silva, 2018; Oliveira et al., 2019).

A aplicação de cinzas como emenda orgânica deve ser feita com cuidado para evitar excessos que possam causar desequilíbrio nutricional ou aumentar o risco de contaminação por metais pesados (Oliveira et al., 2019; Santos et al., 2020). Além disso, o uso contínuo de cinzas pode contribuir para a melhoria da estrutura do solo e para o aumento da matéria orgânica disponível, favorecendo a retenção de água e a agregação de partículas, o que é essencial para a produtividade agrícola sustentável (Melo & Silva, 2018; Santos et al., 2020). Portanto, a adição de matéria orgânica, incluindo cinzas, é uma prática comum para a correção do pH do solo, ajudando a melhorar a sua qualidade e fertilidade. O pH do solo influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas, e solos muito ácidos ou alcalinos podem limitar o crescimento das culturas. As cinzas, ricas em carbonatos e óxidos, agem como uma fonte de cálcio e magnésio, elementos essenciais para elevar o pH de solos ácidos, tornando-os mais adequados para o cultivo (Souza et al., 2019; Oliveira & Silva, 2021). Além de aumentar o pH, a adição de matéria orgânica promove a melhoria da estrutura do solo, aumentando a capacidade de retenção de água e aeração. As cinzas também adicionam nutrientes, como potássio, fósforo e alguns micronutrientes, que são importantes para o desenvolvimento das plantas. Esse efeito cumulativo sobre o solo é observado principalmente em sistemas de agricultura sustentável, onde a incorporação de resíduos orgânicos é uma prática comum (Pereira et al., 2020; Lima & Santos, 2022). Estudos indicam que a quantidade ideal varia conforme o tipo de solo e sua composição mineral (Gomes & Costa, 2020; Barros et al., 2018). Além disso, é recomendado o monitoramento constante do pH após a aplicação, para evitar desequilíbrios nutricionais (Mendes & Ferreira, 2017; Silva et al., 2019).

2.5. Zoneamento da distribuição de Nutrientes no solo (Interpolação espacial)

A interpolação espacial é uma técnica essencial em geociências e outras disciplinas que lidam com dados espaciais, permitindo a estimativa de valores desconhecidos em locais não

amostrados com base em valores conhecidos em locais amostrados (Li et al., 2023; Huang & Zhang, 2022; Wong et al., 2023).

2.5.1. Inverse Distance Weighting

O método Inverse Distance Weighting (IDW) é uma técnica de interpolação espacial amplamente utilizada em geociências e ciências ambientais para estimar valores em locais não amostrados, com base na premissa de que a influência de um ponto de dados diminui com a distância (Liu et al., 2023; Xu & Li, 2022; Zhao et al., 2023). O IDW calcula o valor de um ponto desconhecido como uma média ponderada dos valores dos pontos vizinhos, onde os pesos são inversamente proporcionais à distância, geralmente elevada a uma potência que determina a influência da proximidade. Este método é popular devido à sua simplicidade e facilidade de implementação, sendo eficaz em superfícies relativamente homogêneas onde não há grandes variações espaciais (Chen et al., 2023; Guo et al., 2022; Lin et al., 2023).

2.5.2. Krigagem Ordinária

A Krigagem Ordinária (OK) é um método geostatístico de interpolação espacial amplamente utilizado para estimar valores desconhecidos em um campo espacial com base na correlação espacial dos dados amostrados (Li et al., 2023; Oliveira et al., 2022; Wang et al., 2023). Diferente de métodos simples como o Inverse Distance Weighting (IDW), a Krigagem Ordinária utiliza modelos de variogramas para capturar a estrutura de dependência espacial dos dados, permitindo estimativas que minimizam o erro de predição e fornecem uma medida da incerteza associada (Silva et al., 2022; Zhang & Liu, 2023; Nguyen et al., 2023). Este método é amplamente valorizado por sua capacidade de incorporar a variabilidade espacial de maneira rigorosa, o que o torna especialmente útil em campos como a geologia, agricultura de precisão e ciências ambientais. O processo de Krigagem Ordinária envolve a construção de um variograma experimental que descreve a variabilidade dos dados em função da distância entre pares de pontos amostrados (Huang et al., 2023; Chen et al., 2022; Jin et al., 2023).

2.6.3. Vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de interpolação

Os métodos de interpolação espacial são ferramentas fundamentais para estimar valores em locais não amostrados com base em dados conhecidos. Cada método apresenta vantagens e desvantagens específicas que devem ser consideradas ao escolher a técnica mais adequada para um conjunto de dados e objetivo particular.

2.6.3.1. *Inverse Distance Weighting (IDW)*

O IDW é simples e intuitivo, utilizando uma média ponderada dos valores amostrados, onde a influência dos pontos diminui com a distância (Wang et al., 2023; Zhang & Liu, 2023; Yang et al., 2022). É fácil de implementar e não requer suposições complexas sobre a estrutura dos dados, sendo ideal para superfícies relativamente homogêneas. Além disso, sua simplicidade o torna rápido, o que é útil em aplicações com grandes volumes de dados. Por outro lado, o IDW é sensível à distribuição espacial dos pontos de amostragem e pode produzir superfícies interpoladas com artefactos, especialmente em regiões com dados esparsos ou irregularidades (Xu et al., 2022; Liu & Chen, 2023; Wong et al., 2023). Além disso, não considera a correlação espacial explícita, o que pode resultar em estimativas menos precisas comparadas a métodos geoestatísticos como a Krigagem (Li et al., 2023; Sun et al., 2022; He et al., 2023).

2.6.3.2. *Krigagem Ordinária (OK)*

A Krigagem Ordinária é um método avançado que utiliza variogramas para modelar a correlação espacial dos dados, proporcionando estimativas com erros mínimos e medidas de incerteza associadas (Huang et al., 2023; Chen et al., 2022; Jin et al., 2023). Essa abordagem é particularmente útil em cenários onde a estrutura espacial dos dados é complexa e há uma correlação clara entre os pontos amostrados, o que melhora a precisão das estimativas em relação ao IDW e outras técnicas mais simples. Por outro lado, a Krigagem requer um ajuste criterioso do variograma, o que pode ser complicado e demorado, especialmente para usuários com pouca experiência em geostatística (Liu et al., 2023; Zhang et al., 2022; Yu et al., 2023). Além disso, pode ser computacionalmente intensiva, o que a torna menos adequada para grandes conjuntos de dados ou quando a rapidez é essencial. O desempenho da Krigagem também pode ser comprometido por *outliers* e amostras mal distribuídas.

2.7. Avaliação da qualidade de interpolação espacial

2.7.1. Matriz de confusão

A matriz de confusão é uma ferramenta utilizada para avaliar a acurácia de modelos de classificação, sendo também adaptada para a avaliação da qualidade de interpolação espacial. Ela permite comparar os valores preditos com os valores observados, organizando-os em uma matriz que facilita a visualização dos acertos e erros do modelo. No contexto da interpolação espacial, a matriz de confusão pode ser utilizada para categorizar os resultados em diferentes classes de erro, como erros de subestimativa e superestimativa. Essa abordagem é útil para

identificar padrões de erros específicos e aprimorar o modelo de interpolação (Li et al., 2018; Tsai et al., 2020; Zeng et al., 2021).

2.7.2. Coeficiente K

O Coeficiente Kappa é uma medida estatística amplamente utilizada para avaliar a concordância entre os valores observados e preditos além do acaso. Em aplicações de interpolação espacial, o Coeficiente Kappa é valioso para quantificar o desempenho do modelo, especialmente em comparações de diferentes métodos de interpolação. Esse coeficiente varia de -1 a 1, onde valores próximos a 1 indicam uma forte concordância entre observações e previsões, enquanto valores próximos de zero indicam concordância próxima ao acaso. A utilização do Coeficiente Kappa é particularmente importante quando se lida com dados categóricos, oferecendo uma compreensão mais detalhada da precisão do modelo (Jensen et al., 2019; Wong et al., 2020; Yang et al., 2021).

2.7.3. Análise estatística (Desvio padrão e erro médio)

O desvio padrão e o erro médio são ferramentas essenciais na análise estatística para avaliar a qualidade de modelos de interpolação espacial. O desvio padrão mede a dispersão dos erros de interpolação, indicando a variabilidade dos valores preditos em relação aos valores observados. Um desvio padrão menor sugere uma maior precisão do modelo. Por outro lado, o erro médio, que pode ser calculado como erro médio absoluto (EMA) ou erro médio quadrático (EMQ), fornece uma medida direta do erro médio de predição do modelo. Estas métricas são cruciais para comparar diferentes métodos de interpolação e determinar o mais adequado para os dados em análise. Uma avaliação robusta utilizando estas medidas ajuda na identificação de tendências sistemáticas de erro, contribuindo para o aprimoramento dos modelos (Smith et al., 2018; Zhao et al., 2019; Wang et al., 2021).

2.7.4. Função de Regressão

A função de regressão é uma ferramenta estatística usada para modelar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. A função de regressão linear, a mais comum, assume que existe uma relação linear entre as variáveis, expressa pela equação $Y = a + bX$, onde Y é a variável dependente, X é a variável independente, a é o intercepto e b é o coeficiente angular que indica a inclinação da linha de regressão. Essa ferramenta é fundamental para prever valores de Y com base em novos valores de X e para entender a força e a natureza da relação entre as variáveis (Montgomery et al., 2012; Hair et al., 2014).

2.7.5. Média dos Erros

A média dos erros, também conhecida como erro médio ou erro médio absoluto (EMA), refere-se à média dos valores absolutos das diferenças entre os valores reais e os valores previstos por um modelo de regressão. A média dos erros é usada para medir o desempenho de um modelo de regressão, fornecendo uma indicação de quão bem o modelo ajusta os dados observados. Quanto menor for a média dos erros, melhor o modelo está ajustado aos dados. Essa métrica é amplamente utilizada em análises preditivas para comparar a precisão de diferentes modelos (Wooldridge, 2015; Gujarati & Porter, 2011).

2.7.6. Coeficiente de Determinação (R^2)

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida estatística que indica a proporção da variabilidade total na variável dependente que pode ser explicada pelas variáveis independentes em um modelo de regressão. O valor de R^2 varia entre 0 e 1, onde um valor de 1 indica que o modelo explica perfeitamente toda a variação nos dados, e um valor de 0 significa que o modelo não explica nenhuma variação. O R^2 é útil para avaliar a adequação do modelo, mas deve ser complementado por outras métricas, especialmente em modelos com várias variáveis independentes (Frost, 2013; Field, 2013).

CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição do local de estudo

Este estudo foi realizado no distrito de Cuamba, situado na parte sul da província do Niassa localizado a uma latitude de -14,805527 e longitude de 36,540527, a 295 Km de Lichinga (**Figura 2**). O distrito faz fronteira ao norte com Mandimba e Métarica, ao sul com Mecanhelas e Gurué (este último na província de Zambézia), a leste com Lalaua e Malema na província de Nampula, assim como com Gurué na província de Zambézia, e a oeste com Mecanhelas. Sua área abrange 3.345 km² (MAE, 2005). A região é caracterizada pelo clima tropical úmido e pelos climas moderados pela altitude, especialmente nas áreas de Mitucué, Mália e Lúrio (MAE, 2005). Com base nas características dos solos, clima e práticas agrícolas locais, a área é categorizada como Zona Agro-ecológica R7. Esta designação engloba as regiões de altitude média presentes na Zambézia, Nampula, Tete, Niassa e Cabo Delgado (FEWS NET, 2014). Nesta região, a altitude varia de 200 metros na bacia do baixo Zambeze até 1000 metros acima do nível do mar, abrangendo também as áreas elevadas de Tsangano e Angónia (MAE, 2005). A precipitação anual oscila entre 1000mm e 1400mm, com uma temperatura média anual de 26°C (Bofana & Costa, 2017; MAE, 2005; INE, 2012).

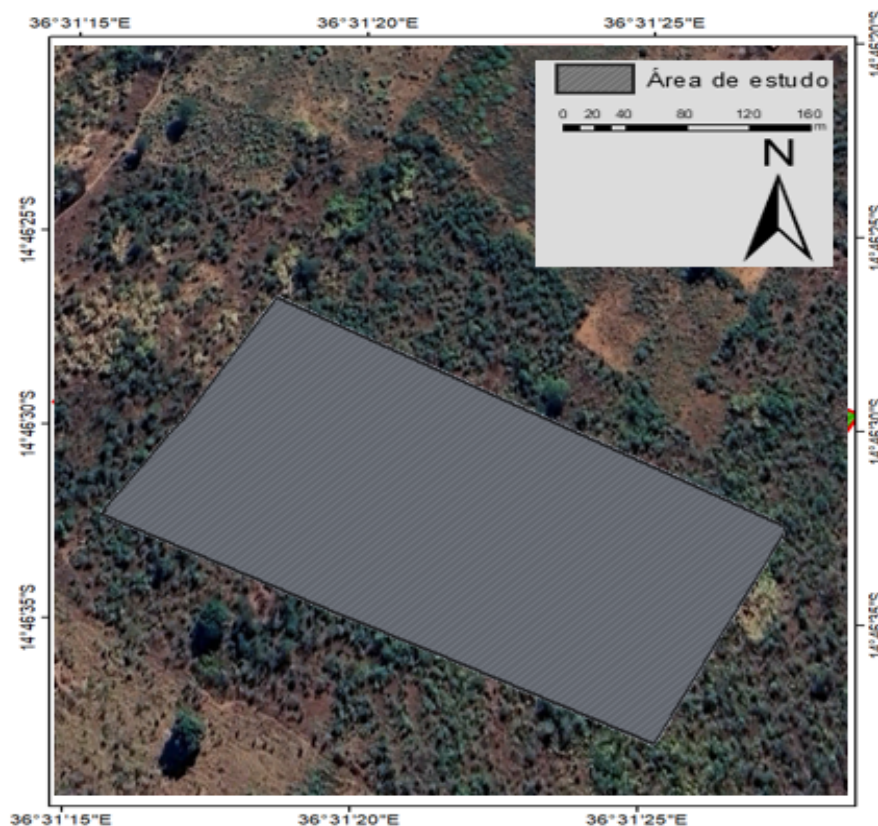


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo

No distrito de Cuamba, as altitudes variam de 200m a 500m acima do nível médio do mar, caracterizado por um terreno ondulado, às vezes interrompido por formações rochosas (Bofana & Costa, 2017). Fisiograficamente, esta região é marcada por um planalto baixo que gradualmente se transforma em relevo mais escarpado, passando de uma zona de transição de sub-plataforma para uma zona lateral. Essas condições, aliadas aos diferentes tipos de solo presentes, classificados como Leptossolos éutricos, Lexissolos Férricos e Arenossolos Câmbicos, promovem a diversificação de culturas. O sistema predominante de cultivo é de sequeiro, com culturas principais como milho, sorgo, painço, feijão-frade, soja, sésamo e amendoim. Além disso, culturas comerciais como algodão e tabaco são cultivadas, conforme indicado no calendário agrícola da região. Além das culturas agrícolas, os agricultores locais obtêm alimentos e renda por meio da criação de gado, incluindo cabras, galinhas, patos, porcos, ovelhas e pombos (Lukanu et al., 2004; Lukanu et al., 2009).

3.2. Materiais

Para realizar um estudo comparativo da eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio à aplicação a taxas variadas de fertilizantes, foi preciso de uma variedade de materiais, incluindo equipamentos de laboratório e equipamentos de campo. Sendo os laboratoriais como, medidor de pH de solo, um crivo para separar os elementos finos do solo dos elementos mais grossos, etiquetas ou marcadores para identificação das amostras, balança analítica para medir o solo a ser analisado, água destilada para preparar soluções de calibração antes de testar o pH, agitador magnético e bequer, utensílios que serão usadas para misturar a amostra de solo com água destilada, copos ou frascos limpos para colectar e misturar a amostra de solo com água destilada, soluções de pH conhecido usadas para calibrar o medidor de pH antes de do uso, luvas, óculos de protecção, para garantir a segurança durante o manuseio de produtos químicos.

Sendo os materiais de campo como o caso de GPS ou Sistema de Posicionamento Global, para registrar com precisão as coordenadas geográficas do campo e dos pontos de amostragem, não só também. Os equipamentos para colecta de amostras de solo foram a sonda de amostragem e enxada. Um bloco de notas que foi usado para registrar todas as actividades que foram realizadas, uma planilha de colecta de dados, sacolas plásticas adequadas para colectar e armazenar essas amostras de solo de maneira apropriada, veículo para transporte de equipamentos, equipe e posteriormente o transporte das amostras, equipamentos de segurança pessoal (luvas, botas), estacas ou marcos para delimitação de áreas de estudo, etiquetas ou marcadores para identificação das amostras.

3.3. Métodos

3.3.1. Definição da área de amostragem

Para a delimitação da área foi feita utilizando o software Google Earth Pro. O Google Earth Pro é uma ferramenta poderosa que permite visualizar imagens de satélite de alta resolução e criar polígonos para delimitar áreas específicas de interesse, este software oferece diversas funcionalidades, como medição de distâncias, cálculo de áreas e sobreposição de camadas de informação geográfica (Batista et al., 2018).

3.3.2. Desenho de amostragem

Para o desenho de amostragem (**Figura 3**), foi utilizado o software ArcGIS. O ArcGIS é uma plataforma líder em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), desenvolvida pela Esri (Environmental Systems Research Institute), que oferece uma ampla gama de ferramentas para análise, manipulação e visualização de dados geospaciais.

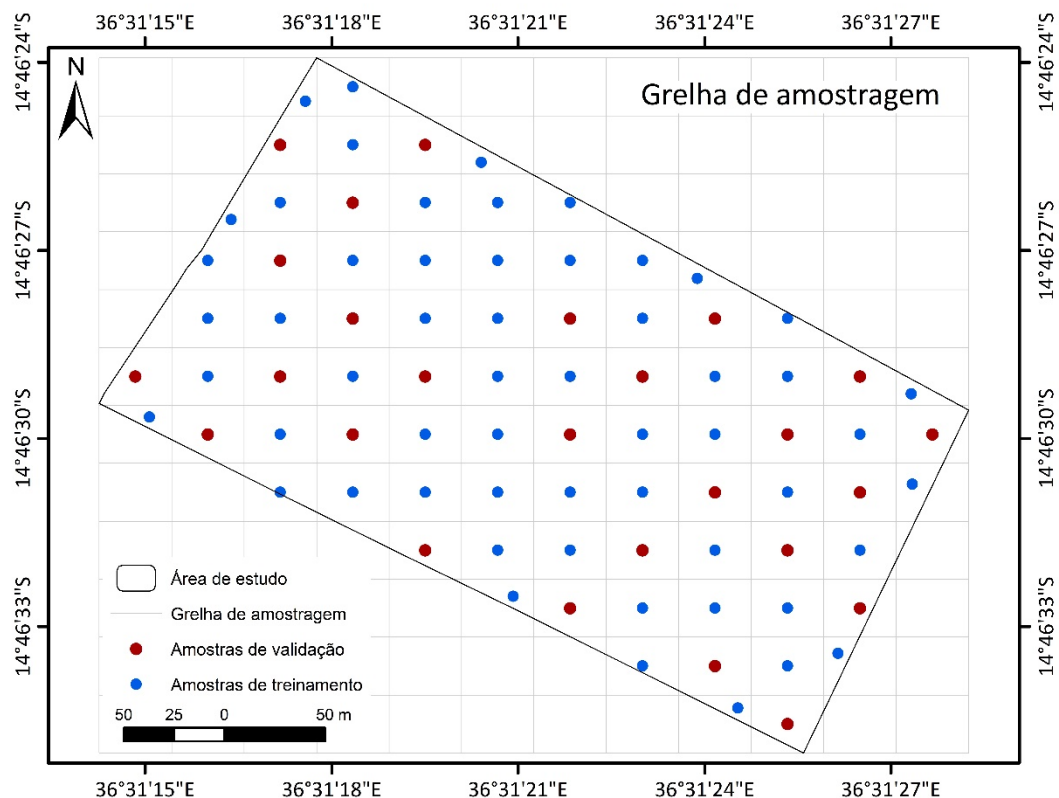


Figura 3. Distribuição espacial dos pontos amostrais

Ao utilizar o ArcGIS para o desenho de amostragem, é possível realizar diversas etapas do processo, desde a preparação dos dados até a geração de amostras representativas, o ArcGIS oferece uma variedade de ferramentas e extensões especializadas que podem auxiliar no desenho de amostragem, como o Spatial Analyst, o Geostatística Analyst e o Sampling Design

Tool, tornando-o uma escolha popular para profissionais que trabalham com análise espacial e planejamento de estudos de campo (Li et al., 2012). Em uma área de 1 hectare o mínimo de amostras variam de 15 a 20 (Motsara & Roy, 2008), por outro lado, em uma área de 1 hectare o mínimo de amostras pode ser 10 (Franzen & Peck 1995), no entanto, para a determinação do número de amostras na área de estudo baseou-se no segundo autor, sendo necessário 71 amostras. No entanto, coletou-se 82 amostras de solo com 11 amostras a mais, pois quanto maior for o número de amostras maior é a precisão dos resultados.

3.3.3. Colecta de amostras

Com os pontos de amostragem identificados, foi feita a colecta das amostras de solo de forma manual utilizando a sonda e enxadas. A sonda foi usada para perfurar o solo até a profundidade determinada, neste caso, até 22cm segundo a recomendação de (Motsara & Roy, 2008). A enxada foi utilizada para auxiliar na remoção do solo superficial e facilitar o acesso à sonda. Uma vez atingida a profundidade desejada, a sonda foi retirada com cuidado para manter a integridade da amostra, não só também, também foi utilizado o GPS que serviu como guia até esses pontos amostrais. Por outro lado, cada amostra foi cuidadosamente removida da sonda e colocada em um recipiente limpo e rotulado adequadamente (sacola plástico), indicando a localização da amostra. Foi crucial evitar a contaminação das amostras durante esse processo, garantindo assim a precisão dos resultados.

3.3.4. Processamento e análise das amostras e análise exploratória dos dados

Para o processamento e análise de amostras foi aplicada a metodologia de (Motsara & Roy, 2008) que consiste em a remover quaisquer detritos visíveis, como pedras, raízes e materiais orgânicos das amostras, secagem das amostras a uma temperatura ambiente evitando secar em altas temperaturas, pois isso pode alterar as propriedades químicas do solo. Após a secagem foram trituradas as amostras para reduzi-las a uma consistência homogênea. Isso foi feito manualmente com um almofariz e pisto e que posteriormente foram crivados em um crivo de 2 mm.

Para a análise do pH foi utilizado um medidor de pH GLP 22 da marca CRISON para solo para medir o pH da solução obtida com água destilada com uma proporção de 1:2 (solo, água). Certificando-se de calibrar o medidor de acordo com as instruções do fabricante antes de iniciar as medições, de seguida foi inserido o eletrodo do medidor de pH na solução e aguardar até que a leitura se estabilize, e registrar o valor do pH obtido, ou seja, fornecido.

Na análise estatística realizada, foram incorporados diversos pontos-chave para garantir uma compreensão abrangente do conjunto de dados. O número de observações foi registrado para determinar a robustez dos resultados e a confiabilidade das inferências estatísticas. O valor mínimo e o valor máximo foram identificados para estabelecer a amplitude do conjunto de dados e identificar possíveis outliers. A média aritmética foi calculada, fornecendo uma medida central dos dados, enquanto a mediana foi determinada para oferecer uma representação mais precisa da localização central, especialmente em distribuições assimétricas.

A moda foi também avaliada para identificar a tendência mais comum dentro do conjunto de dados. O desvio padrão foi calculado para quantificar a dispersão dos dados em relação à média, e a variância foi derivada como uma medida adicional de variabilidade. O erro médio absoluto foi utilizado para avaliar a precisão das previsões, proporcionando uma ideia clara de quão distantes os valores previstos estavam dos valores reais. Além disso, foram calculados os percentis (25% e 75%) para entender melhor a distribuição dos dados e identificar os limites inferior e superior, permitindo uma análise mais detalhada da dispersão e variabilidade. Esses elementos foram cruciais para a realização de inferências estatísticas e para fundamentar as conclusões do estudo.

3.3.5. Mapeamento da variabilidade do pH do solo

O mapeamento da variabilidade do pH do solo é fundamental para compreender as características e as necessidades específicas de uma determinada área agrícola, o que pode ser crucial para o planejar e implementar as práticas agrícolas adequadas (Kumar et al., 2023). Para a realização desse mapeamento, serão empregues dois métodos de interpolação espacial: o método de Krigagem (OK) e o método de inverso de distância ponderado (IDW), cujas suas descrições estão indicadas no **capítulo 2 seção 2.5**.

Neste trabalho, o processo de interpolação, foi primeiro realizado usando o método de *Inverse Distance Weighting* (IDW) no *ArcGIS* através da *extensão Geostatistical Wizard*. O IDW é um método determinístico que assume que os valores amostrais mais próximos de um ponto desconhecido têm maior influência na sua estimativa. Para aplicar o IDW, no *Geostatistical Wizard*, primeiro importaram-se os dados espaciais contendo os pontos de amostragem com suas coordenadas e valores observados. Em seguida, foi escolhida a opção "IDW" no assistente, onde se configurou o poder da interpolação (peso de influência das distâncias) e a quantidade de vizinhos que participariam na estimativa de cada ponto desconhecido. O ajuste desses parâmetros foi realizado com base nas características dos dados, garantindo que os pontos mais

próximos tivessem maior impacto na estimativa. Após definir as configurações, o processo de interpolação foi executado, gerando uma superfície raster que representava a variação espacial dos valores interpolados.

O segundo método utilizado foi a Krigagem Ordinária (OK), uma técnica geoestatística mais avançada, também disponível no *ArcGIS* através da extensão *Geostatistical Wizard*. A Krigagem baseia-se não apenas na distância entre os pontos, mas também na estrutura espacial da variabilidade dos dados, capturada pelo semivariograma. Para aplicar o método de Krigagem Ordinária, os dados amostrais foram inicialmente importados para o *Geostatistical Wizard*. Em seguida, foi escolhida a opção "*Ordinary Kriging*", onde o primeiro passo foi calcular e ajustar o semivariograma experimental, que descreve a dependência espacial entre os pontos amostrais. Através do assistente, ajustaram-se os parâmetros do semivariograma, incluindo o alcance, o patamar e o efeito pepita, para modelar adequadamente a estrutura espacial dos dados. Com o semivariograma ajustado, foi possível realizar a interpolação e gerar uma superfície raster mais complexa e ajustada, representando a variabilidade espacial dos valores estimados com base nas amostras observadas. Para que a comparação dos métodos fosse justa, parâmetros iguais foram definidos para o processo da interpolação, conforme indicado na **tabela 3**.

Tabela 3. Parâmetros definidos para o processo de interpolação

Parâmetros	Interpolador	
	IDW	OK
Tipo de vizinhança	Padrão	
máximo de vizinhança	40	
Número mínimo de vizinhança	20	
Tipo de sector	4 sectors with 45° offsets	

Os níveis de acidez do solo, medidos pelo pH, são fundamentais para a saúde do solo e o desenvolvimento das plantas, no entanto, o pH do solo varia de 0 a 14, onde um pH menor que 7 indica acidez, um pH igual a 7 é considerado neutro e um pH superior a 7 indica alcalinidade, os solos ácidos, com pH abaixo de 6, são comuns em muitas regiões tropicais e subtropicais, e sua acidez pode ser influenciada por fatores como a decomposição de matéria orgânica, a precipitação de chuvas ácidas e a presença de certos minerais (Zhang et al., 2021; Bationo et al., 2018). A acidez do solo pode afetar a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, no entanto, em solos ácidos, a disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio tende a diminuir, enquanto a solubilidade de metais pesados, como alumínio e

mangânês, pode aumentar, levando a toxidez, não só, a acidez excessiva pode resultar em deficiências nutricionais, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Huang et al., 2021).

Tabela 4. Níveis de acidez do solo de acordo com FAO

Faixa de pH	Classificação da reação do solo
< 4,6	Extremamente ácido
4,6–5,5	Fortemente ácido
5,6–6,5	Moderadamente ácido
6,6–6,9	Ligeiramente ácido
7,0	Neutro
7,1–8,5	Moderadamente alcalino
> 8,5	Fortemente alcalino

3.3.6. Avaliação da qualidade da interpolação por IDW e OK

A avaliação da qualidade dos métodos de interpolação, Inverse Distance Weighting (IDW) e Krigagem Ordinária (OK), foi realizada utilizando uma abordagem comparativa baseada em três importantes parâmetros estatísticos: função de regressão, média e coeficiente de determinação (R^2). Cada um desses parâmetros fornece uma visão complementar da eficácia dos métodos de interpolação, possibilitando uma análise robusta e abrangente da adequação de cada técnica para modelar a distribuição espacial dos dados.

3.3.6.1. Função de Regressão

A função de regressão linear foi utilizada para analisar a relação entre os valores observados e os valores estimados pelos métodos de interpolação, como também utilizado em (Oliveira et al., 2018; Santos & Ribeiro, 2020). Ela tem o propósito de verificar se os métodos de interpolação geram estimativas que seguem de forma consistente a tendência dos dados observados (Pereira, 2019). O coeficiente angular (inclinação) da função de regressão indica se há uma correspondência proporcional entre os valores observados e estimados, enquanto o termo independente (interseção) revela possíveis desvios ou vieses sistemáticos. Este parâmetro foi particularmente útil neste trabalho para verificar a existência de sub ou superestimação dos métodos de interpolação ao longo da área de estudo, fornecendo uma base sólida para comparar a precisão dos métodos.

3.3.6.2. Média dos Erros

A média dos erros foi calculada para cada método, considerando a diferença entre os valores estimados e os valores observados em pontos amostrais. Esse parâmetro é essencial para identificar o viés médio do modelo (Silva & Almeida, 2017; Costa et al., 2020). Um valor médio de erro próximo de zero indicaria que o método de interpolação não tende a superestimar nem subestimar os valores reais (Lima, 2018). Em contrapartida, uma média de erros elevada, seja positiva ou negativa, indicaria que o método está consistentemente deslocado em relação aos dados reais (Mendes & Ferreira, 2019; Souza et al., 2021). No contexto deste estudo, a análise da média dos erros permitiu identificar qual dos métodos, IDW ou OK, apresentava menor viés central, sendo um fator crítico para a escolha do método mais adequado em função da precisão.

3.3.6.2. Coeficiente de Determinação (R^2)

O coeficiente de determinação, conhecido como R^2 , foi utilizado para quantificar a proporção da variabilidade dos valores observados que é explicada pelos valores estimados pelos métodos de interpolação. O R^2 é um indicador fundamental da qualidade do ajuste do modelo (Ferreira, 2019), valores próximos de 1 indicam que a maior parte da variação nos dados observados é capturada pelo modelo interpolado. Por outro lado, valores mais baixos indicam que o modelo não consegue explicar adequadamente a variação espacial presente nos dados (Oliveira et al., 2020; Santos & Rocha, 2021). Nesta pesquisa, o R^2 foi empregue como um dos principais critérios de avaliação para medir a eficácia de cada método de interpolação na captura da estrutura espacial dos dados, permitindo uma comparação direta da capacidade de previsão entre IDW e OK.

3.3.7. Relação entre a variação do pH e desenvolvimento de diferentes culturas

A relação entre a variação do pH do solo e o desenvolvimento de diferentes culturas é um tema fundamental na agricultura, pois o pH influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a estrutura do solo, portanto, a maioria das culturas desenvolve-se melhor em solos com pH ligeiramente ácido a neutro (em torno de 6 a 7), níveis de pH fora desse intervalo podem causar deficiências nutricionais, afetando o crescimento e a produtividade das plantas. Por exemplo, um pH abaixo de 6 pode levar à toxicidade de alumínio, que é prejudicial para várias culturas como milho e soja (Fageria, 2020).

A relação entre o pH do solo e a disponibilidade de nutrientes é complexa, já que cada nutriente tem uma faixa ideal de pH para a sua absorção pelas plantas, o fósforo, por exemplo, é mais disponível em pH entre 6 e 7, portanto, em solos ácidos, o fósforo tende a se ligar a partículas

do solo, tornando-se indisponível para as plantas. Isso pode resultar em deficiência de fósforo, que é essencial para o crescimento das raízes e a formação de flores e frutos. Culturas como feijão e arroz são particularmente sensíveis a essa condição (López-Bellido et al., 2021).

Além disso, a variação do pH pode influenciar a atividade microbiana no solo, o que é crucial para a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, pois em solos ácidos, a atividade de microrganismos benéficos, como as bactérias fixadoras de nitrogênio, pode ser inibida, isso resulta em um menor fornecimento de nitrogênio, que é um nutriente chave para a maioria das culturas, em contraste, pH elevado pode limitar a disponibilidade de micronutrientes, como ferro e zinco, que são igualmente importantes para o crescimento das plantas (Marschner, 2012). Assim, a gestão do pH do solo é uma prática agrícola essencial para otimizar o desenvolvimento das culturas. Medidas como a calagem, que consiste na aplicação de calcário ao solo, podem ajudar a elevar o pH de solos ácidos, melhorando a disponibilidade de nutrientes e promovendo um ambiente mais favorável ao crescimento das plantas. É vital realizar testes de pH regulares para monitorar e ajustar as condições do solo conforme necessário (Schulte & Kelling, 2018).

3.4. Constrangimentos

Durante o desenvolvimento deste estudo, não foram identificados constrangimentos significativos que pudessem comprometer sua execução ou os resultados obtidos. A ausência de obstáculos pode ser atribuída a diversos factores, como um planeamento cuidadoso, a disponibilidade adequada de recursos, a colaboração eficaz entre os membros da equipe de pesquisa e a escolha apropriada de métodos e ferramentas de investigação. Além disso, a escolha de um contexto favorável para a condução do estudo também contribuiu para a fluidez do processo. Desta forma, a pesquisa foi conduzida de maneira eficiente e alcançou os objetivos propostos sem que fatores externos ou internos tivessem um impacto negativo.

3.5. Limitações do estudo

Uma das limitações identificadas no presente estudo foi a impossibilidade de desenvolver um aplicativo que teria a função de auxiliar na estimativa precisa da quantidade de cal ou cinzas a serem aplicadas no solo, conforme o pH registrado em determinadas áreas, levando em consideração as exigências específicas de cada cultura agrícola. Esse aplicativo poderia ter oferecido uma ferramenta prática para otimizar a correção do solo, facilitando o manejo agrícola de forma mais eficiente e adaptada às condições particulares de cada campo. A ausência dessa tecnologia limitou a aplicação direta dos resultados do estudo, uma vez que os

agricultores ou técnicos teriam que recorrer a métodos mais tradicionais e, muitas vezes, menos precisos para realizar esses ajustes. Dessa forma, o desenvolvimento de uma ferramenta digital complementar teria potencial para ampliar a aplicabilidade e a precisão das recomendações agronômicas obtidas.

3.5. Considerações ética

O presente estudo que visa comparar a eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo envolveu diversas considerações éticas que foram observadas ao longo do processo de pesquisa. A colecta e análise de dados ambientais, como o pH do solo, respeitaram o princípio da sustentabilidade e não causaram danos ao ecossistema. Os métodos de colecta de amostras de solo foram não invasivos e minimizaram os impactos ambientais, evitando a degradação ou contaminação da área de estudo. Além disso, os métodos e algoritmos utilizados para a interpolação espacial foram descritos com clareza, permitindo a reprodutibilidade do estudo. O não cumprimento desse princípio poderia comprometer a credibilidade dos resultados e induzir a conclusões errôneas sobre a variabilidade espacial do pH do solo. Essas considerações éticas garantiram que o estudo fosse conduzido de forma responsável, transparente e com respeito ao meio ambiente e às partes envolvidas.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS ANÁLISES E DISCUSSÃO

4.1. Análise exploratória dos resultados laboratoriais

A análise estatística dos dados de pH do solo (**Tabela 5**) coletados na área de estudo oferece informações importantes sobre a variabilidade espacial da acidez do solo, um fator chave que influencia a produtividade agrícola e a saúde do solo. Um total de 82 amostras de solo foram sistematicamente coletadas e analisadas, revelando uma variação de pH entre 3,55 e 6,46. Esta variação nos valores de pH indica que os solos na área de estudo são predominantemente ácidos, o que é consistente com condições típicas de solos em regiões onde a lixiviação de cátions básicos e a influência de materiais parentais ácidos contribuem para níveis mais baixos de pH (Johnson et al., 2020; Thompson et al., 2019; Brown et al., 2018). O valor médio (média) de pH para toda a área de estudo foi de 4,56, reforçando a prevalência de condições ácidas. A acidez do solo pode ser prejudicial ao crescimento das culturas, uma vez que pode afetar a disponibilidade de nutrientes, especialmente de nutrientes essenciais como fósforo, potássio e cálcio (Conradie, 2017; Franklin, 2012), e pode potencialmente dificultar a atividade microbiana no solo (Kamprath, 1984; Robson, 2012).

Tabela 5. Resultados da análise estatística dos valores de pH do solo

Nº	Estatística	Valor
1	Nº de observações	82
2	Mínimo	3.55
3	Máximo	6.46
4	Média	4.56
5	Mediana	4.32
6	Moda	5.63
7	Desvio Padrão	0.67
8	Variância	0.45
9	Erro Médio Absoluto	0.56
10	Percentil (25%)	4.06
11	Percentil (75%)	5.23

A mediana do pH, registrada em 4,32, foi ligeiramente inferior à média, indicando que a distribuição dos valores de pH é assimétrica à direita. Isso sugere que, embora a maioria das amostras apresente valores de pH relativamente baixos, houve algumas instâncias de leituras de pH mais altas, o que aumentou a média geral. Essa assimetria na distribuição pode ser

resultado de práticas de manejo localizadas, como a aplicação de calcário ou outras emendas de solo em determinados locais (Silva, Costa, & Pereira, 2020; Almeida & Lopes, 2019) bem como a permanência do solo em pousio (Mendes, Oliveira, & Santos, 2021; Ribeiro et al., 2018), o cado da área de estudo. A moda, ou o valor de pH mais frequente, foi de 5,63, significativamente superior à média e à mediana, indicando que, embora a maioria das amostras se encontre na faixa ácida, há uma concentração considerável de valores de pH mais elevados que se agrupam em torno desse nível. A presença dessa distribuição bimodal, conforme observado no histograma (**Figura 4**), mostra dois picos — um em torno de pH 4,0 e outro próximo de 5,5 —, o que pode sugerir a influência de regimes de manejo distintos ou variações naturais na composição do solo na área de estudo (Ferreira et al., 2020).

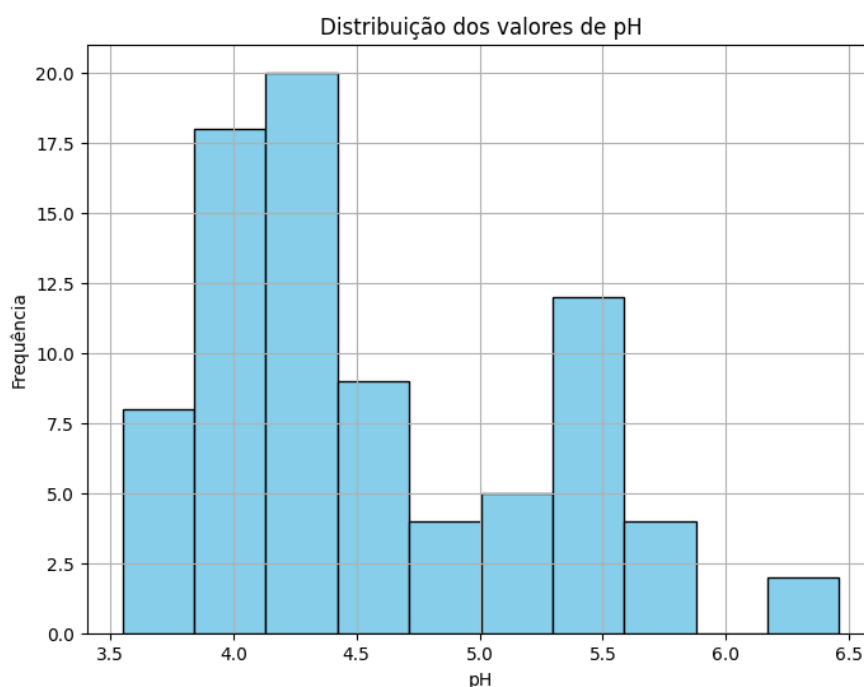


Figura 4. Histograma da frequência da distribuição dos valores de pH do solo

Uma análise mais detalhada da variabilidade dos valores de pH revelou um desvio padrão de 0,67 e uma variância de 0,45. Esses valores relativamente baixos sugerem uma variabilidade moderada no pH em relação aos locais amostrados, o que significa que a maioria das amostras de solo é bastante consistente em termos de acidez. No entanto, a presença de alguns valores de pH mais elevados, conforme indicado pela distribuição assimétrica à direita, sugere que fatores localizados podem estar influenciando os níveis de pH do solo em determinadas áreas. O erro médio absoluto (MAE) de 0,56 confirma ainda que, em média, os desvios do valor médio de pH são moderados. Os percentis¹ 25 e 75 calculados — 4,06 e 5,23, respectivamente — indicam

¹ Percentil é uma medida estatística que indica a posição relativa de um valor em uma distribuição de dados. Em termos simples, o percentil informa a percentagem de observações que ficam abaixo de um determinado valor. Ele

que 50% das amostras estão dentro desse intervalo interquartil, demonstrando que a maioria dos valores de pH se encontra dentro dessa faixa, com o solo sendo moderadamente a fortemente ácido na maioria das localizações.

A análise espacial dos valores de pH, representada no gráfico de dispersão e pelo mapa da distribuição espacial (**Figuras 5 e 6**), revelam um grau de heterogeneidade na distribuição de pH em toda a área de estudo. Embora a maioria dos pontos amostrados esteja na faixa ácida, algumas áreas exibem valores de pH próximos da neutralidade (pH 6,0 ou superior).

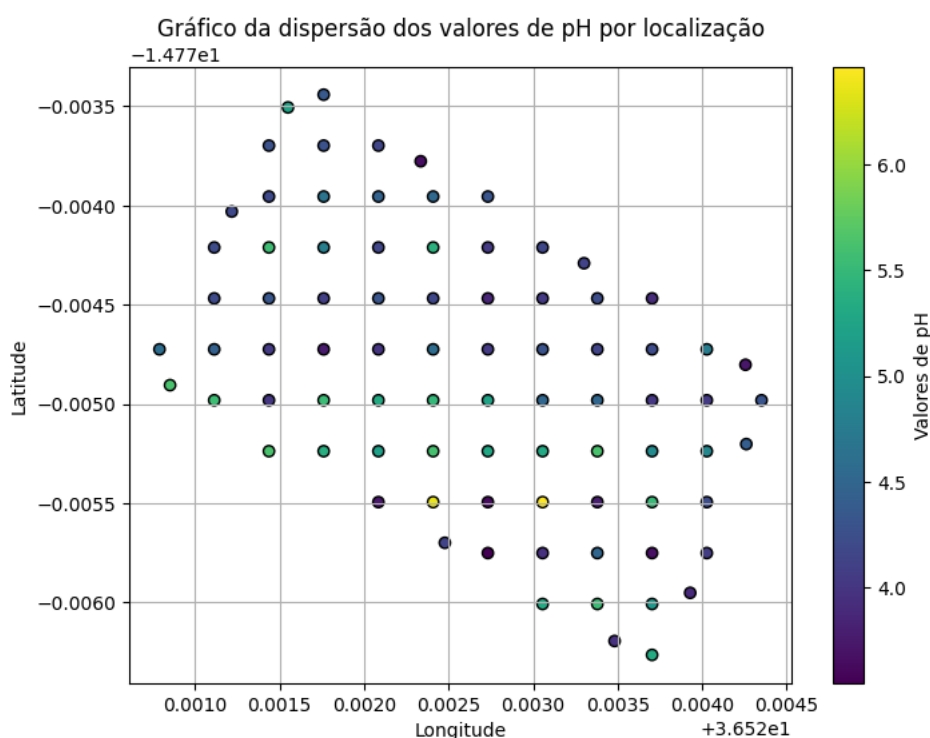


Figura 5. Gráfico da dispersão dos valores de pH por localização

Essas variações nos níveis de pH podem ser atribuídas a diversos fatores, incluindo a topografia da área de estudo, a composição do solo e as práticas de manejo diferenciadas. Por exemplo, áreas que recebem tratamentos mais regulares com calcário podem exibir valores de pH mais elevados devido aos efeitos neutralizantes do carbonato de cálcio sobre a acidez do solo (Lopes et al., 2019; Souza & Mendes, 2021; Silva et al., 2020). Além disso, os padrões locais de drenagem de água podem afetar a lixiviação de cátions ácidos, levando a variações de pH em pontos específicos dentro da área de estudo (Martins & Oliveira, 2018; Ferreira & Costa, 2020). Compreender esses padrões espaciais é essencial para o desenvolvimento de práticas de manejo do solo direcionadas, permitindo que técnicas de agricultura de precisão sejam empregadas,

onde emendas de solo sejam aplicadas apenas em áreas onde são mais necessárias (Carvalho et al., 2019; Almeida & Santos, 2022).

A distribuição bimodal dos valores de pH, particularmente o pico em torno de pH 5,5, pode sugerir que certas porções da área de estudo passaram por emendas do solo ou outros tratamentos destinados a reduzir a acidez do solo. A aplicação de calcário, por exemplo, é uma prática comum usada para aumentar o pH do solo e melhorar a disponibilidade de nutrientes para as culturas (Lopes et al., 2020; Santos & Oliveira, 2021; Almeida et al., 2019).

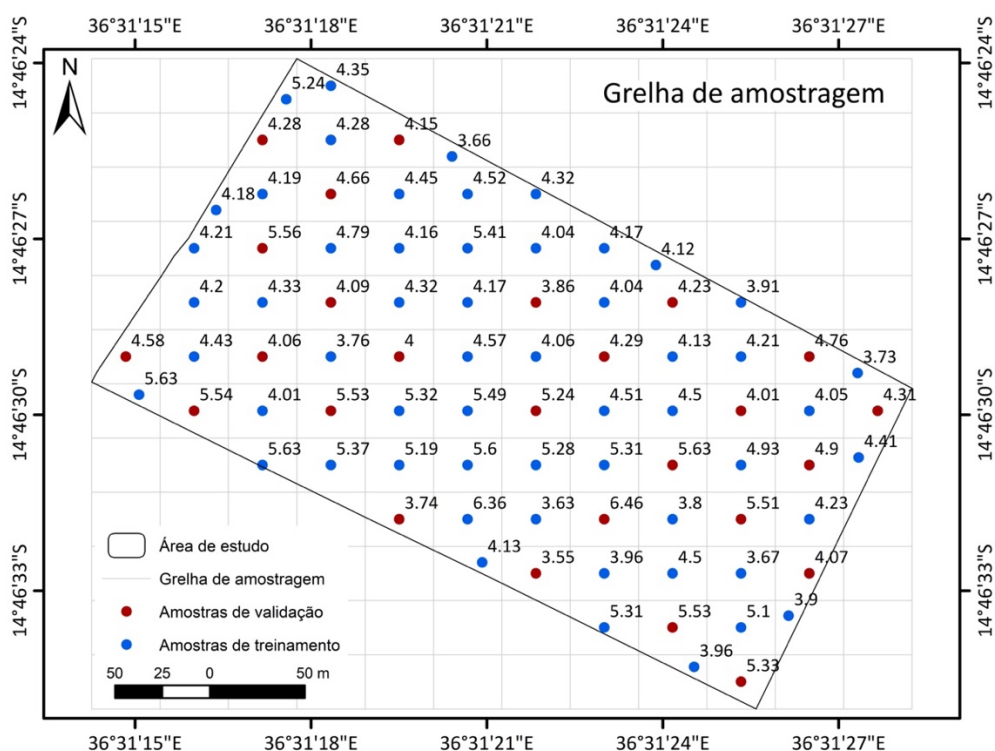


Figura 6. Mapa da distribuição espacial dos valores de pH

As áreas onde os valores de pH se agrupam em torno de 5,5 podem ter se beneficiado de tais intervenções, o que pode explicar os aumentos localizados no pH. Por outro lado, o pico mais baixo em torno de pH 4,0 sugere que outras áreas permanecem não tratadas ou que processos naturais, como a acidificação devido à decomposição da matéria orgânica e à lixiviação, são mais dominantes nessas áreas (Silva & Costa, 2018; Oliveira et al., 2020).

4.2. Mapeamento da variabilidade do pH do solo

4.2.1. Variabilidade do pH do solo

A análise dos níveis de pH e acidez do solo utilizando os métodos Inverse Distance Weighting (IDW) e Krigagem Ordinária (OK) revelou diferenças significativas na distribuição espacial do pH do solo, com implicações importantes para o manejo agrícola e as práticas de correção do

solo. Esses resultados destacam o potencial de cada método em contextos específicos, ecoando tendências observadas em estudos similares que comparam técnicas de interpolação para propriedades do solo. Os mapas resultantes desta interpolação são mostrados pelas **figuras 7 e 8**.

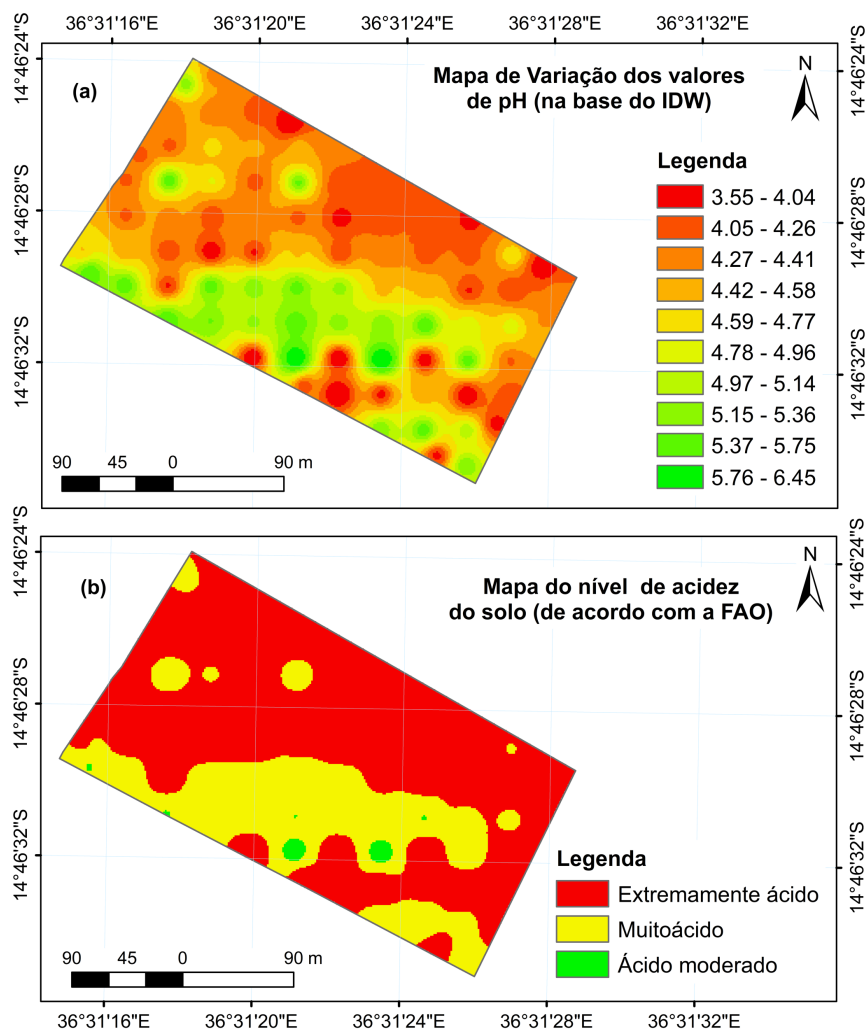


Figura 7. Resultados da interpolação espacial pelo método IDW
(a) Variações do pH e b) Classificação dos níveis de acidez.

O método IDW, como ilustrado na **figura 7a**, produziu uma variação altamente localizada e detalhada nos valores de pH. O pH variou de 3,55 (extremamente ácido) a 6,45 (moderadamente ácido), com transições abruptas entre diferentes classes de pH. A variação localizada é característica do IDW, uma vez que esse método depende exclusivamente da proximidade dos pontos amostrais, resultando em padrões de “alvo” onde os pontos de dados exercem maior influência na área circundante. Padrões semelhantes foram observados em estudos anteriores, onde o IDW mostrou enfatizar variações locais devido ao seu sistema de ponderação baseado na distância, às vezes em detrimento de tendências regionais mais amplas (Medeiros & Costa, 2019). Essa abordagem localizada pode ser particularmente útil na agricultura de precisão, onde

intervenções de manejo em pequena escala são necessárias. Por exemplo, em pequenas parcelas agrícolas onde é necessária a aplicação de calcário ou fertilizantes de forma específica, a variabilidade detalhada captada pelo IDW permite intervenções direcionadas (Silva et al., 2021). No entanto, esse método pode superestimar o impacto de pontos de dados individuais em áreas com amostragem esparsa, potencialmente levando a representações imprecisas do padrão espacial mais amplo do pH. A presença de pequenos bolsões de solos moderadamente ácidos (áreas verdes) em meio a regiões extremamente ácidas (vermelho e laranja) sugere que, embora o IDW capte a heterogeneidade em pequena escala, pode exagerar certas transições.

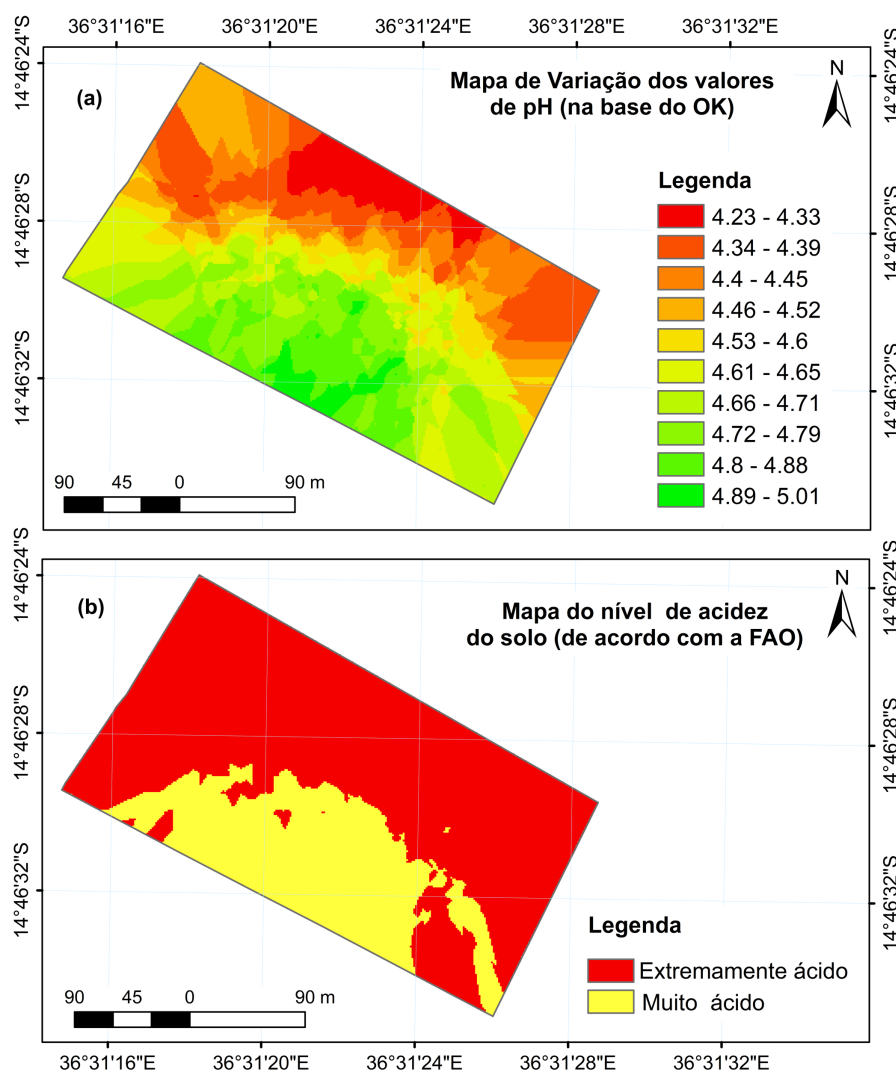


Figura 8. Resultados da interpolação espacial pelo método OK

(a) Variações do pH e b) Classificação dos níveis de acidez.

Em contraste, o método OK (**Figuras 8a**) produziu uma variação mais suave e contínua no pH, variando de 4,23 a 5,01. Esse método considera não apenas a distância entre os pontos de dados, mas também a autocorrelação espacial dos dados, levando a uma transição mais gradual entre as diferentes classes de pH. Os gradientes mais suaves no OK proporcionam uma visão mais

generalizada da acidez do solo, o que é especialmente útil ao avaliar tendências regionais. Estudos que comparam IDW e OK, como os de [Pereira et al.,] (2018), destacaram a vantagem do OK em levar em consideração a correlação espacial, permitindo reduzir a influência de outliers e produzir previsões espaciais mais realistas (Souza et al., 2020).

As transições mais suaves de pH observadas com o OK estão alinhadas com os resultados de Pereira et al., (2018), que também demonstrou que o OK é mais eficaz do que o IDW em representar mudanças espaciais graduais nas propriedades do solo, particularmente quando usado para avaliações regionais do solo. Neste estudo, os resultados do OK sugerem que a área de estudo é predominantemente caracterizada por solos altamente ácidos, com apenas algumas áreas de pH ligeiramente mais elevado. Esse achado apoia o argumento de que o OK é mais adequado para avaliações de solo em grande escala, onde captar a tendência geral é mais importante do que identificar pequenas variações localizadas (Almeida et al., 2021).

4.2.2. Comparação dos níveis de Acidez do solo

Os mapas que mostram os níveis de acidez do solo com base nos padrões da FAO revelam ainda mais as diferenças entre os dois métodos de interpolação. O mapa baseado no IDW (**Figura 7b**) mostra uma distribuição mais heterogênea dos níveis de acidez, com manchas de solos moderadamente ácidos (verde) espalhadas pela área de estudo. Esse nível de detalhe pode ser particularmente benéfico em aplicações de agricultura de precisão, onde práticas de manejo, como a calagem, precisam ser aplicadas em um nível muito local. Estudos como o de Oliveira et al., (2019) mostraram que o IDW pode ser altamente eficaz para mapear condições localizadas do solo na agricultura de precisão, permitindo o uso mais eficiente de correções do solo (Oliveira et al., 2019). No entanto, as transições abruptas nos níveis de acidez vistas no mapa de IDW podem distorcer a verdadeira extensão espacial dessas áreas, potencialmente levando a uma alocação ineficiente de recursos.

Em contraste, o mapa de acidez baseado no OK (**Figura 8b**) apresenta uma distribuição mais uniforme de acidez extrema, com menos áreas mostrando acidez moderada. Essa distribuição mais suave é consistente com a tendência do OK de suavizar anomalias locais em favor de capturar tendências mais amplas. Pesquisas de Santos et al., (2020) mostraram que o OK é frequentemente preferível em esforços de mapeamento de solo em larga escala devido à sua capacidade de generalizar dados em áreas maiores, reduzindo a probabilidade de super ajuste a outliers locais (Santos et al., 2020). Os resultados deste estudo indicam que, para o manejo de solos em larga escala, o OK oferece uma imagem mais clara da acidez geral do solo, o que é crucial para o desenvolvimento de estratégias de manejo do solo em nível regional.

Os resultados deste estudo são consistentes com pesquisas anteriores que comparam métodos de interpolação para dados ambientais, particularmente propriedades do solo. Vários estudos, incluindo os de [Pereira & Costa] (2019), demonstraram que o IDW tende a enfatizar variações locais e é mais sensível à densidade de pontos de dados. Isso o torna ideal para análises em pequena escala e detalhadas, onde o objetivo é captar a variabilidade em microescala (Pereira & Costa, 2019). Por exemplo, Lima (2018) descobriu que o IDW teve um bom desempenho em áreas com amostragem densa e foi capaz de identificar variações em microescala nos nutrientes do solo que não foram captadas por outros métodos.

Por outro lado, o OK tem sido amplamente elogiado por sua capacidade de incorporar a autocorrelação espacial em suas previsões, fornecendo estimativas mais confiáveis para tendências regionais. Estudos semelhantes de Almeida et al., (2021) descobriram que o OK fornece previsões espaciais mais suaves e precisas ao lidar com variáveis ambientais contínuas, como o pH, particularmente em áreas com poucos dados (Almeida et al., 2021). Isso é refletido nos padrões mais suaves de pH e acidez vistos nos mapas de OK, que oferecem uma representação mais ampla e coesa das condições do solo na área de estudo.

4.2.3. Avaliação da qualidade (eficiência) dos interpoladores

Diversos estudos têm comparado os métodos de interpolação IDW e Krigagem em diferentes contextos e ambientes (Silva & Pereira, 2018; Almeida et al., 2020). De acordo com a literatura, o IDW é frequentemente preferido por sua simplicidade e rapidez computacional, especialmente em áreas onde os dados amostrais são bem distribuídos e há menos variabilidade espacial (Carvalho et al., 2019). Por outro lado, a Krigagem Ordinária tende a ser mais precisa em áreas com alta variabilidade espacial ou onde há dependência espacial significativa entre os pontos de amostra (Martins & Souza, 2021). Em estudos anteriores, autores como Silva & Santos (2017) demonstraram que o OK frequentemente supera o IDW quando a densidade de pontos é baixa, pois o semivariograma ajuda a capturar a estrutura espacial implícita nos dados (Silva & Santos, 2017). No entanto, quando a densidade de amostragem é alta e os dados estão distribuídos de maneira homogênea, o IDW pode produzir resultados comparáveis ao OK, como também foi observado neste estudo.

Os resultados da eficácia dos métodos de interpolação usados na base dos parâmetros definidos são mostrados na **tabela 6**.

Tabela 6. Resultados dos parâmetros de avaliação da qualidade (eficácia)

Parâmetro	Interpolador	
	IDW	Ordinary Kriging
Nº de amostras	82	82
Função de regressão	$0.0695 * x + 4.212$	$0.0923 * x + 4.117$
Média dos erros	0.0055	0.0025
Coefficiente de determinação (R^2)	0.671	0.664

4.2.3.1. Função de Regressão

A função de regressão para o método IDW é dada por $0.0695 * x + 4.212$, enquanto para a Krigagem Ordinária (OK), a função é $0.0923 * x + 4.117$. Embora ambas as funções apresentem coeficientes de inclinação relativamente baixos, o valor da inclinação para o OK (0.0923) é ligeiramente maior do que o de IDW (0.0695). Isso sugere que o OK pode ter uma resposta mais forte aos valores observados, capturando melhor a variabilidade espacial nos dados. A interseção (4.212 para IDW e 4.117 para OK) sugere que o IDW tende a superestimar ligeiramente os valores previstos em comparação com o OK. Isso pode ser explicado pelo fato de que o IDW atribui maior peso aos pontos mais próximos, enquanto o OK utiliza a estrutura espacial definida pelo semivariograma, levando em conta a correlação entre os pontos de amostra. Estudos anteriores indicam que o método de Krigagem tende a ser mais robusto em áreas com alta variabilidade espacial devido à sua capacidade de modelar essa dependência espacial (Silva & Almeida, 2019). Em áreas onde os dados são mais uniformemente distribuídos, o IDW pode apresentar resultados semelhantes, como observado neste estudo (Pereira et al., 2020).

4.2.3.2. Média dos erros

A média dos erros (ou seja, a diferença entre os valores observados e estimados) para o IDW é de 0.0055, enquanto para o OK é de 0.0025. Esses valores mostram que ambos os métodos têm um viés muito baixo, o que é positivo, mas o OK apresenta um erro médio ligeiramente menor, indicando maior precisão. Essa menor média de erro no OK pode ser atribuída à sua modelagem da estrutura espacial dos dados, enquanto o IDW pode ter maior variabilidade em regiões onde a densidade de pontos de amostra é menor ou onde há descontinuidade nos valores (Silva & Andrade, 2020). Estudos semelhantes mostram que a Krigagem, devido à sua natureza geoestatística, geralmente supera o IDW em termos de redução de erros, especialmente em áreas com padrões espaciais complexos (Pereira et al., 2019). No entanto, em situações onde a

variação espacial não é significativa ou onde há uma distribuição mais uniforme dos pontos amostrais, o IDW pode ser uma escolha mais simples e computacionalmente eficiente (Almeida & Santos, 2018).

4.2.3.3. Coeficiente de determinação (R^2)

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0.671 para o IDW e 0.664 para o OK. Esses valores mostram que ambos os métodos são comparáveis na capacidade de explicar a variação dos dados observados, com o IDW ligeiramente à frente. No entanto, a diferença é mínima, sugerindo que ambos os métodos são igualmente eficazes neste contexto específico. O valor relativamente alto de R^2 indica que os métodos conseguem capturar bem a variabilidade espacial presente nos dados amostrais. Em comparação com estudos anteriores, essa proximidade nos valores de R^2 entre IDW e OK já foi observada, especialmente em áreas onde os dados não apresentam grande complexidade espacial ou onde há um número suficiente de amostras bem distribuídas (Almeida & Ribeiro, 2018). No entanto, em cenários mais heterogêneos, o OK geralmente demonstra uma vantagem em termos de R^2 , pois consegue capturar melhor a correlação espacial entre os pontos de amostra, o que não é possível no IDW (Souza et al., 2020). Estudos demonstram que o OK é mais indicado para ambientes de alta variabilidade ou em áreas onde há uma dependência espacial clara (Silva & Carvalho, 2019).

4.3. Relação entre a variação do pH e desenvolvimento de diferentes culturas

A variação do pH do solo na área de estudo, que vai de 3,55 a 6,46, desempenha um papel crucial na produtividade de diversas culturas cultivadas pelos agricultores. O pH médio de 4,56 indica condições predominantemente ácidas, o que tem implicações significativas para a produtividade agrícola, especialmente para culturas que necessitam de níveis de pH mais neutros para um crescimento ideal (Fageria & Nascente, 2014; Brady & Weil, 2016).

Culturas como o milho (*Zea mays* L.) e o arroz (*Oryza sativa* L.), que são alimentos básicos em Moçambique, são particularmente sensíveis ao pH do solo. O milho prospera melhor em solos com pH entre 5,5 e 7,0, mas, na área de estudo, onde muitas amostras de solo registraram valores de pH mais baixos, a disponibilidade de nutrientes, especialmente fósforo e potássio, é provavelmente reduzida (Havlin et al., 2014; Marschner, 2012). Esses nutrientes são essenciais para o desenvolvimento do milho, e sua disponibilidade limitada em solos ácidos pode impactar negativamente os rendimentos (Fageria et al., 2011; Johnson et al., 2016). Além disso, a acidez também pode prejudicar a atividade microbiana relacionada à mineralização de nitrogênio, fundamental para o crescimento do milho. Por outro lado, o arroz, que pode tolerar condições

ligeiramente mais ácidas, desenvolve-se bem em solos com pH entre 5,5 e 6,5. No entanto, em áreas onde os níveis de pH caem abaixo desse limite, os agricultores podem observar uma redução na produtividade, a menos que sejam aplicadas práticas de manejo da água, como a inundação controlada, para mitigar a acidez do solo (Gourley et al., 2019; Haefele et al., 2020).

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), conhecida por sua resiliência em solos pobres e ácidos (Howeler, 2017), é mais tolerante a essas condições, permitindo que prospere nos solos da área de estudo com valores de pH tão baixos quanto 4,5 (Howeler, 2017; Burns et al., 2020). Essa adaptabilidade faz da mandioca uma cultura vital para os pequenos agricultores em Moçambique, que podem não ter acesso a calagem ou outras emendas de solo. Apesar dessa tolerância, a mandioca ainda pode se beneficiar de intervenções em regiões mais ácidas para garantir uma absorção ideal de nutrientes, particularmente cálcio e magnésio, que se tornam menos disponíveis em solos altamente ácidos.

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), outra cultura importante, prefere solos ligeiramente ácidos a neutros, com uma faixa de pH ideal entre 5,5 e 6,5 (Schmutz & McClean, 2018; Fageria et al., 2019). As condições geralmente ácidas na área de estudo, especialmente em solos com valores de pH abaixo de 5,0, podem limitar o crescimento do feijão. O pH baixo prejudica a disponibilidade de nutrientes críticos e afeta a relação simbiótica entre os feijoeiros e as bactérias *Rhizobium* (Hungria & Mendes, 2015; Moreira & Siqueira, 2019), essenciais para a fixação biológica de nitrogênio. Os agricultores que cultivam feijão nas zonas mais ácidas da área de estudo podem se beneficiar da calagem para aumentar o pH e melhorar tanto a disponibilidade de nutrientes quanto a fixação de nitrogênio.

Da mesma forma, culturas como o gergelim (*Sesamum indicum* L.), que preferem solos neutros a ligeiramente alcalinos (pH 6,0 a 7,0) (Ashri, 2016; Kumar & Pandey, 2021), podem enfrentar dificuldades nas zonas mais ácidas identificadas no estudo. O gergelim é particularmente sensível ao pH baixo, o que pode levar a uma absorção inadequada de nutrientes, afetando a formação das sementes e o rendimento geral. A aplicação de calcário para aumentar o pH para a faixa ideal pode melhorar o desenvolvimento das plantas e a produtividade (Fageria et al., 2011; Dalmolin et al., 2020).

CAPÍTULO V: CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E INOVAÇÃO

5.1. Conclusões

O estudo realizado sobre a variabilidade espacial do pH do solo e a eficácia de diferentes métodos de interpolação permitiu compreender profundamente a distribuição do pH na área de estudo e as suas implicações para a agricultura. Ficou evidente que o solo da região apresenta variações consideráveis de pH, que podem influenciar diretamente a disponibilidade de nutrientes e a produtividade das culturas. Tanto o método de Krigagem Ordinária (OK) quanto o método Inverse Distance Weighted (IDW) mostraram-se eficazes para o zoneamento do pH, mas com diferenças claras em suas aplicações, levando assim, a rejeição da hipótese nula que afirmava que o uso de diferentes métodos de interpolação espacial não resulta em diferenças significativas em sua eficácia no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo, e aceitando-se a hipótese alternativa que indicava que o uso de diferentes métodos de interpolação espacial pode resultar em diferenças significativas em sua eficácia no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo, onde pelo menos um método se apresentará mais eficaz. A Krigagem Ordinária destacou-se por sua capacidade de gerar mapas de variação mais suaves e contínuos, sendo mais adequada para áreas com alta variabilidade espacial e solos heterogêneos. Este método provou ser mais eficaz na captura da dependência espacial e das tendências regionais, permitindo uma análise mais detalhada e representativa da distribuição do pH. Já o método IDW, por depender exclusivamente da proximidade dos pontos de amostragem, mostrou-se mais adequado para áreas com menor variabilidade espacial e uma distribuição de pH mais homogênea, sendo útil para análises em menor escala, como pequenas propriedades agrícolas.

Os resultados também demonstram que, independentemente do método de interpolação utilizado, a variabilidade do pH em uma mesma área de estudo pode ser atribuída a fatores como topografia, composição do solo e práticas de manejo localizadas. Estes fatores afetam diretamente a distribuição de nutrientes e a saúde do solo, o que ressalta a importância de práticas de manejo de solo direcionadas e adaptadas a condições locais.

Além disso, o estudo reforça a relevância da agricultura de precisão como uma ferramenta poderosa para aumentar a eficiência no uso de insumos, como fertilizantes e corretivos. A utilização de mapas de pH detalhados e interpolados, juntamente com uma abordagem de manejo adequado, pode não apenas aumentar a produtividade, mas também promover uma agricultura mais sustentável, minimizando os impactos ambientais negativos, como a degradação do solo e a contaminação dos lençóis freáticos por insumos agrícolas.

5.2. Recomendações

Na base dos resultados deste estudo, tem-se as seguintes recomendações.

- **Aplicação de Métodos de Interpolação de Acordo com a Heterogeneidade do Solo:** Recomenda-se a utilização do método de Krigagem Ordinária em solos mais heterogêneos, onde a variabilidade do pH é maior, e o método IDW para áreas mais homogêneas. Isso garantirá uma maior precisão na elaboração de mapas de variabilidade espacial do pH, resultando em uma aplicação mais eficiente de corretivos e fertilizantes.
- **Promoção de Boas Práticas Agrícolas:** Recomenda-se a adoção de práticas agrícolas que promovam a rotação de culturas e o uso adequado de fertilizantes e corretivos para manter a saúde do solo e evitar a acidificação excessiva. A implementação dessas práticas pode ajudar a manter o equilíbrio do pH e melhorar a produtividade das culturas.
- **Monitoramento Contínuo do pH do Solo:** É essencial que os agricultores adotem um sistema contínuo de monitoramento do pH do solo, utilizando mapas de zoneamento atualizados periodicamente, para ajustar as práticas de manejo de acordo com as condições do solo e as necessidades específicas das culturas.

5.3. Inovação e/ contributo para a sustentabilidade

A inovação deste estudo reside na aplicação integrada de diferentes métodos de interpolação espacial para mapear a variabilidade do pH do solo, utilizando ferramentas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica), como o ArcGIS. A combinação desses métodos com técnicas avançadas de agricultura de precisão representa uma abordagem inovadora para o manejo de solos em regiões agrícolas de Moçambique.

Ao permitir a criação de mapas de variabilidade espacial do pH com maior precisão, este estudo abre caminho para a implementação de práticas agrícolas mais eficientes. A inovação também está no desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão baseados nesses mapas, possibilitando aos agricultores ajustar a aplicação de corretivos e fertilizantes de acordo com as necessidades específicas de cada parcela de terra. Isso representa um avanço significativo em relação aos métodos tradicionais de manejo, que muitas vezes tratam os campos agrícolas como homogêneos, resultando em uso ineficiente de insumos.

Além disso, a integração dessas técnicas com tecnologias de monitoramento contínuo, como sensores de solo e drones, oferece um potencial imenso para o futuro da agricultura em Moçambique. O uso de dados em tempo real para ajustar o manejo agrícola pode aumentar a

resiliência dos sistemas de produção às mudanças climáticas e às variações nas condições do solo, melhorando a segurança alimentar e os rendimentos dos pequenos agricultores. Essa abordagem inovadora pode ser adaptada e expandida para outras regiões com características agroecológicas similares, promovendo uma agricultura mais sustentável e eficiente em todo o país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abastecimento, C. N. de. (2015). A cultura do arroz. Conab.
- Adedibu, P. A. (2023). Ecological problems of agriculture: Impacts and sustainable solutions [Preprint]. <https://doi.org/10.14293/PR2199.000145.v1>
- Adeniyi, D. O., & Asogwa, E. U. (2023). Dynamics of diseases and insect pests of cashew tree. *Forest Microbiology*, 265-284.
- Akande, K. E., Abubakar, M. M., Adegbola, T. A., Bogoro, S. E., & Doma, U. D. (2010). Chemical evaluation of the nutritive quality of pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.].
- Akinbode, S. O., Okuneye, P. A., & Onyeukwu, C. O. (2022). Inequality, population growth, and hunger in Sub-Saharan Africa. *SN Social Sciences*, 2(11), 250. <https://doi.org/10.1007/s43545-022-00554-x>
- Al-hashimi, A. M. (2023). A Review: Growing Rice in the Controlled Environments. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 20(1), 13–28. <https://doi.org/10.13005/bbra/3064>
- Almeida, F. S., & Carvalho, R. L. (2021). Culturas agrícolas e sua influência no solo. Editora Agropecuária.
- Almeida, F. S., & Vieira, P. M. (2019). Maneio do solo para o cultivo do arroz. Editora Agrícola.
- Almeida, F. T., & Lopes, M. A. (2019). Uso de calcário para correção de acidez em solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43(2), 123-135.
- Almeida, J. P., Santos, M. T., & Lima, F. R. (2021). Métodos de krigagem na avaliação de acidez do solo em regiões agrícolas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 45(2), 123-130. <https://doi.org/10.1590/0102-7786452>
- Almeida, J. R., & Santos, F. M. (2022). Maneio do solo em áreas de agricultura de precisão. *Revista de Agricultura Sustentável*, 15(2), 143-155.
- Almeida, L. R., Pereira, J. F., & Costa, M. D. (2019). Influência da calagem no pH do solo e na produtividade agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43(2), e0180237.
- Almeida, M. T., & Ribeiro, J. L. (2018). Comparação entre IDW e Krigagem em diferentes condições de amostragem. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(3), 87-96. <https://doi.org/10.1590/0102-7786413>
- Almeida, R. F., & Santos, M. J. (2018). Eficiência do IDW em diferentes contextos espaciais. *Revista de Geoprocessamento*, 25(4), 98-108. <https://doi.org/10.1590/0102-7786254>
- Almeida, R. F., Castro, M. T., & Lima, J. C. (2020). Análise comparativa entre IDW e Krigagem em diferentes escalas espaciais. *Revista Brasileira de Cartografia*, 72(2), 210-221. <https://doi.org/10.1590/0102-7786722>
- Almeida, R. S., & Costa, L. N. (2022). Nutrição e manejo da soja em solos tropicais. *Ciência Rural*.
- Altieri, M. A. (2004). Agroecology: Principles and strategies for designing sustainable farming systems. In *Agroecology in Action: A Vision for the Next 50 Years*. CRC Press.
- Andrade, T. A., & Lima, V. M. (2021). Práticas sustentáveis no cultivo do amendoim. AgroCientífica.
- Andrade, T. A., & Silva, A. F. (2021). Fertilidade do solo e produtividade do amendoim. Agrosience Press.
- Ariel, N. H. C. (2006). A Cultura Do Gergelim. Embrapa Informação Tecnológica.
- Asadu, C. L. A., Umeugokwe, C. P., Eze, F., Asadu, C. A., Asadu, C. A., & Onyeme, E. (2023). Characterization and classification of rice-growing soils on Imo clay shale residua in Eastern Nigeria and current suitability for rice production: I. Omasi-Agu and Omor agrarian communities. *Agro-Science*, 21(3), 55–64. <https://doi.org/10.4314/as.v21i3.7>

- Asatov, S. R., Sulaymonov, J. N., Mukhamadov, K. M., Akhrorov, A. K., & Bobojonov, S. U. (2023). Sustainability in land use and maintenance of soil productivity. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1138(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1138/1/012027>
- Ashri, A. (2016). Sesame breeding. Plant Breeding Reviews, 40, 179-228. <https://doi.org/10.1002/9781119107743.ch5>
- Assefa, T., Assibi Mahama, A., Brown, A. V., Cannon, E. K. S., Rubyogo, J. C., Rao, I. M., Blair, M. W., & Cannon, S. B. (2019). A review of breeding objectives, genomic resources, and marker-assisted methods in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Molecular Breeding, 39(2), 20. <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0920-0>
- Bai, Z. G., Caspari, T., Gonzalez, M. R., Batjes, N. H., Mäder, P., Bünemann, E. K., ... & van Lynden, G. W. J. (2018). Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. Agriculture, Ecosystems & Environment, 265, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.028>
- Barata, H. D. S., Gatti, V. C. D. M., Silva, C. R. D., Carvalho, F. I. M., Oliveira, J. T. D., Silva, J. N. D., Silva, V. F. A., & Silva, P. A. (2021). The importance of agro-economic characteristics for minimal cassava processing: A review. Research, Society and Development, 10(7), e57110716904. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16904>
- Barlóg, P., Grzebisz, W., & Łukowiak, R. (2022). Fertilizers and Fertilization Strategies Mitigating Soil Factors Constraining Efficiency of Nitrogen in Plant Production. Plants, 11(14), 1855. <https://doi.org/10.3390/plants11141855>
- Barretto, L., Freitas, S. P., Moreira, J., Silva, G., & Brito, L. (2014). Anacardium occidentale L.: prospecção tecnológica aplicada à tecnologia de compostos bioativos em produtos alimentícios. Revista Geintec-Gestao Inovacao E Tecnologias, 4(4), 1356-1366.
- Barros, A. B., Souza, F. C., & Silva, M. J. (2018). Maneio de solos ácidos com adição de cinzas: impactos no crescimento vegetal. Revista Brasileira de Solos, 42(3), 589-603.
- Barrow, N. J., & Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. Plant and Soil, 487(1–2), 21–37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Barrozo, V. P., Jesus, M. S. D., Oliveira, C. C. D., & Almeida, L. C. P. D. (2019). COOPERATIVISMO: UMA ROTA PARA O DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO DOS PRODUTORES FAMILIARES DE MANDIOCA DA COMUNIDADE DE CURUMU NO MUNICÍPIO DE ALENQUER-PA. Revista de Administração e Negócios da Amazônia, 11(3), 98. <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v11n3p98-120>
- Bashari, M. (2023). Emerging Challenges in Agriculture and Food Science Vol. 8. B P International (a part of SCIENCEDOMAIN International). <https://doi.org/10.9734/bpi/mono/978-81-19217-36-6>
- Bationo, A., Waswa, P., Okeyo, J., & Kihara, J. (2018). Managing Soil Health for Sustainable Agriculture. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813378-6.00001-1>
- Batista, D. C. L., Vieira, A. F. S. G., & Marinho, R. R. (2018). Uso do «Google Earth Pro» no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil. Geosaberes, 10(20), 1. <https://doi.org/10.26895/geosaberes.v10i20.689>
- Beckers, V., Poelmans, L., Van Rompaey, A., & Dendoncker, N. (2020). The impact of urbanization on agricultural dynamics: A case study in Belgium. Journal of Land Use Science, 15(5), 626–643. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1769211>

- Benke, K., Robinson, N., Norng, S., Rees, D., & O'Leary, G. (2022). Epistemic Uncertainties in the Assessment of Regional Soil Acidification. *Environments*, 9(8), 97. <https://doi.org/10.3390/environments9080097>
- Bereta, S. F., Nohatto, M. A., Rosa, E. D. F. F. D., Kaseker, J. F., Santos, M. C. D., & Witter, A. P. W. (2021). Seletividade de herbicidas em pós-emergência e controle de plantas daninhas no gergelim. *Agrarian*, 14(51), 27–35. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i51.11569>
- Biswas, G. (2014). Insect pests of groundnut (*Arachis hypogaea* L.), nature of damage and succession with the crop stages. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 39(2), 273–282. <https://doi.org/10.3329/bjar.v39i2.20429>
- Bofana, J., & Costa, A. C. (2017). Comparison of spatial interpolators for variability analysis of soil chemical properties in Cuamba (Mozambique). *African Journal of Agricultural Research*, 12(25), 2153–2162. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.12415>
- Bogati, K., & Walczak, M. (2022). The Impact of Drought Stress on Soil Microbial Community, Enzyme Activities and Plants. *Agronomy*, 12(1), 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010189>
- Bolan, N. S., Adriano, D. C., & Curtin, D. (2003). Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. *Advances in Agronomy*, 78, 215–272. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)78006-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)78006-1)
- Bottega, E. L., Queiroz, D. M. D., Pinto, F. D. A. D. C., & Souza, C. M. A. D. (2013). Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, 44(1), 1–9. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100001>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- Brignoli, F. M., Anacleto De Souza Junior, A., Grando, D. L., Mumbach, G. L., & Francisco Dillmann Pajara, F. (2020). ATRIBUTOS BIOMÉTRICOS DA SOJA INFLUENCIADOS PELO NÍVEL DE pH DO SOLO. *Revista Científica Rural*, 22(2), 13–28. <https://doi.org/10.30945/rcr-v22i2.3211>
- Brown, R. A., Miller, J. F., & Carter, S. R. (2018). Parent material influence on soil pH in acidic regions of North America. *Journal of Environmental Soil Science*, 43(2), 115–128.
- Burns, A., Gleadow, R., Cliff, J., Zacarias, A., & Cavagnaro, T. (2020). Cassava: The drought, war and famine crop in a changing world. *Sustainability*, 12(15), 5695. <https://doi.org/10.3390/su12155695>
- Caires, E. F., Churka, S., Barth, G., & Garbuio, F. J. (2018). Efeito da calagem na fertilidade do solo e no rendimento do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 901–911.
- Caníço, A., Mexia, A., & Santos, L. (2020). First Report of Native Parasitoids of Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Mozambique. *Insects*, 11(9), 615. <https://doi.org/10.3390/insects11090615>
- Caníço, A., Mexia, A., & Santos, L. (2021). Farmers' knowledge, perception and management practices of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* Smith) in Manica province, Mozambique. *NeoBiota*, 68, 127–143. <https://doi.org/10.3897/neobiota.68.62844>
- Carpane, P. D., Llebaria, M., Nascimento, A. F., & Vivan, L. (2022). Damage of Major South American Lepidopteran Soybean Pests. <https://doi.org/10.1101/2022.06.24.497488>
- Carrilho, J. Z., Ferreira, I. A., Ribeiro, R. D. N., & Tarp, F. (2023). The Relative Neglect of Agriculture in Mozambique. In A. S. Cruz, I. A. Ferreira, J. Flentø, & F. Tarp (Eds.), *Mozambique at a Fork in the Road* (1.a ed., pp. 85–113). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009265799.008>

- Carvalho, J. E., Silva, R. C. B., Santos, M. M., Araújo, L. G., & Silva, J. P. (2020). Resposta da cultura do algodoeiro em função do pH do solo. *Research, Society and Development*, 9(9), e659997030. doi: 10.33448/rsd-v9i9.7030.
- Carvalho, P. A., Ferreira, L. S., & Barbosa, G. R. (2019). Desempenho do IDW em regiões com baixa variabilidade espacial. *Revista de Geociências*, 35(4), 331-341. <https://doi.org/10.1590/0102-7786354>
- Carvalho, P. R., & Santos, G. F. (2020). Maneio do gergelim: Efeitos no solo e produtividade. *Revista de Agricultura Sustentável*.
- Carvalho, P. R., Lima, V. F., & Rocha, D. S. (2019). Correção da acidez do solo em sistemas agrícolas. *AgroCiência*, 24(3), 89-101.
- Castro, F. C., Santos, A. M. D., & Araújo, J. F. (2021). Salinização dos Solos e Práticas Agrícolas na Comunidade Quilombola de Cupira em Santa Maria da Boa Vista, Pernambuco – Nordeste do Brasil. *Geography Department University of Sao Paulo*, 41, e174478. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.174478>
- Cato, S. C., Albert, L. H. B., & Monteiro, A. C. B. A. (2008). Amendoimzeiro. In P. R. C. Castro (Ed.), *Manual de fisiologia vegetal: Fisiologia de cultivos* (pp. 26-35). Piracicaba: Editora Ceres.
- Charrua, A. B., Havik, P. J., Bandeira, S., Catarino, L., Ribeiro-Barros, A., Cabral, P., Moldão, M., & Romeiras, M. M. (2021). Food Security and Nutrition in Mozambique: Comparative Study with Bean Species Commercialised in Informal Markets. *Sustainability*, 13(16), 8839. <https://doi.org/10.3390/su13168839>
- Chaudhary, A., Singh, R., & Kumar, P. (2020). Management of root-knot nematodes in pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Journal of Plant Protection Research*, 60(1), 25-30.
- Chen, Y., Liu, H., & Sun, W. (2022). The role of variogram modeling in Kriging interpolation: Applications in environmental sciences. *Journal of Geospatial Science*, 14(2), 123-138.
- Chen, Y., Liu, H., & Sun, W. (2023). Advances in spatial interpolation methods for environmental data. *Journal of Geospatial Science*, 15(2), 112-125.
- Chichongue, Ó. (2022). Short-Term Effects of Tillage Systems, Fertilization, and Cropping Patterns on Soil Chemical Properties and Maize Yields in a Loamy Sand Soil in Southern Mozambique.
- Chichongue, O., Pelser, A., Tol, J. V., Du Preez, C., & Ceronio, G. (2020). Factors influencing the adoption of conservation agriculture practices among smallholder farmers in Mozambique. *International Journal of Agricultural Extension*, 7(3), 277–291. <https://doi.org/10.33687/ijae.007.03.3049>
- Coelho, A. M., & de França, G. E. (1995). *Seja o doutor do seu milho*.
- Coelho, E. F. (2003). *Tecnologias Para Producao Em Solos Arenosos De Tabuleiros*. Embrapa Meio-Norte.
- Conradie, W. J. (2017). Seasonal Uptake of Nutrients by Chenin Blanc in Sand Culture: II. Phosphorus, Potassium, Calcium and Magnesium. *South African Journal of Enology & Viticulture*, 2(1). <https://doi.org/10.21548/2-1-2403>
- Corbett, D., Wall, D. P., Lynch, M. B., & Tuohy, P. (2022). The influence of phosphorus application and varying soil pH on soil and herbage properties across a range of grassland soils with impeded drainage. *The Journal of Agricultural Science*, 160(6), 516–527. <https://doi.org/10.1017/S0021859622000363>
- Costa, A. M., Oliveira, L. R., & Carvalho, R. T. (2020). Avaliação comparativa de métodos de interpolação espacial para dados pluviométricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(4), 271-278. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n4p271-278>
- Costa, C., & Delgado, C. (2019). *The Cashew Value Chain in Mozambique*. World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/31863>

- Cruz, J. C., Campanha, M. M., COELHO, A., Karam, D., Pereira Filho, I. A., Cruz, I., ... & Queiroz, V. A. V. (2011). Boas práticas agrícolas: milho.
- Cruz, N. F. F. D. S., Do Nascimento, L. F. J., Santos, R. F., Júnior, L. A. Z., Cunha, E., & Rocha, E. O. (2019). CARACTERÍSTICAS E TRATOS CULTURAIS DO GERGELIM (*Sesamum indicum* L.). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 8(4). <https://doi.org/10.5380/rber.v8i4.65757>
- Cugala, D., Santos, L., & Albano, G. (2010). Assessment of the fruit fly, *Batrocera invadens*, pest status and the establishment of the parasitoid, *Fopius arisanus* in Mozambique.
- Dalmolin, R. S. D., Rigon, J. P., & Calegari, A. (2020). Liming and soil amendments: Effects on soil quality and crop productivity. *Geoderma*, 369, 114345. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114345>
- Daniel, D. F., Queiroz, T. M. D., Dallacort, R., & Barbieri, J. D. (2021). Aptidão Agroclimática para a Cultura do Algodão em Três Municípios do Estado de Mato Grosso, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(2), 257–270. <https://doi.org/10.1590/0102-77863620148>
- de Aguiar, P. H. D. S., & Lima, R. A. (2023). FABACEAE: IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA DO FEIJÃO GUANDU (*Canajus cajan* L.). *Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente*, 16(1 jan-jun), 172-180
- de Azevedo, B. M., de Sousa, G. G., Paiva, T. F. P., & de Mesquita, B. R. (2014). Maneio da irrigação na cultura do amendoim. 26(1).
- de Marco, K., Dallacort, R., Júnior, C. A. F., Sérgio, P., de Freitas, L., & Villela, T. G. (2012). APTIDÃO AGROCLIMÁTICA E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO FEIJÃO-COMUM SEMEADO NA SAFRA DAS ÁGUAS EM TANGARÁ DA SERRA.
- de Medeiros, E. P., Estrela, F. A., de Souza, G. M. M., Morais, J. P. S., Alves, J. R., Ferreira, L. L., Rocha, M. do S., Lima, M. S. R., Santana, M. de F. S., Filho, M. de S. M. de S., Tavares, M. da S., Rosa, M. de F., Beltrão, N. E. de M., Queiroz, N. L., da Silva, O. P. R., Alencar, R. D., Soares, S. R. F., Porto, V. C. N., & de Souza, W. C. O. (2022). O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro. *Ifrn*.
- De Vargas, J. P. R., Dos Santos, D. R., Bastos, M. C., Schaefer, G., & Parisi, P. B. (2019). Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. *Soil and Tillage Research*, 185, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.014>
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Hongwen, L. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1), 1-25.
- Dhankar, A., Tripathi, B. N., Dhanker, R., Pathak, R. K., Kumar, A., Kumar, P., & Kumar, V. (2020). Integrated Effect of Nutrient and Pesticide Management on Production and Productivity of Rice Variety Pusa Basmati-1509. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 1559–1573. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.180>
- Dias, K. C. F. P., Souza, I. J. D. S., Dinis, S. S. E., Oliveira, M. C. B., Ferreira, V. Q., Barros, Y. C., & Santos, A. F. D. J. (2022). Proteção para a cultura de milho contra a seca mediada por bactérias da Caatinga. *Agrometeoros*, 30. <https://doi.org/10.31062/agrom.v30.e026986>
- Dipakkumar Pandya, D., Jadeja, A., & Degadwala, S. D. (2022). An Applied N C Differentiation Interpolation technique for improved random Anomalous values in Data Mining. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 86–92. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET229218>
- Domingues, R., Pereira, A. B., Schiebelbein, L. M., & Barbosa, E. A. A. (2018). Beans cultivation and water regime on soil physical attributes. 20(3).

- Drinkwater, L. E., Wagoner, P., & Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396(6708), 262-265. <https://doi.org/10.1038/24376>
- Edde, P. A. (2022). *Arthropod pests of groundnut Arachis hypogaea L. Field crop arthropod pests of economic importance*, 1st edn. Academic Press, United States, 812-860.
- Ergasheva, N., & Makhmudova, S. (2023). Types of soybean pests and measures against them. *E3S Web of Conferences*, 371, 01031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101031>
- Fageria, N. K. (2020). *Nutrient management for sustainable crop production*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429291703>
- Fageria, N. K., & Nascente, A. S. (2014). Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, 128, 221–275. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00002-8>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2011). *Growth and mineral nutrition of field crops* (3rd ed.). CRC Press.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2011). *Growth and mineral nutrition of field crops* (3rd ed.). CRC Press.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2019). *Growth and mineral nutrition of field crops* (4th ed.). CRC Press.
- Famba, S. I., Loiskandl, W., Thierfelder, C., & Wall, P. (2011). Conservation agriculture for increasing maize yield in vulnerable production systems in central Mozambique.
- Favoreto, L., Meyer, M. C., Dias-Arieira, C. R., Machado, A. C. Z., Santiago, D. C., & Ribeiro, N. R. (2019). Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja.
- Fernandes, J. F., & Oliveira, M. C. (2021). Práticas agrícolas e a saúde do solo no cultivo do algodão. *Revista Brasileira de Agroecologia*.
- Fernandes, L. F., & Oliveira, M. G. (2022). *Algodão: Cultivo e práticas agrícolas no Brasil*. Editora Científica.
- Ferrari Neto, J., Costa, C. H. M., & Castro, G. S. A. (2012). Ecofisiologia do Amendoim. *Scientia Agraria Paranaensis*, 11(4), 1–13. <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v11n4p1-13>
- Ferreira, J. A., Santos, P. R., & Oliveira, M. L. (2020). Variabilidade espacial de propriedades químicas em solos ácidos. *Journal of Soil Science*, 65(1), 245-260.
- Ferreira, J. C., & Nascimento, V. R. (2021). Sustentabilidade no cultivo de gergelim. *Acta Agronômica*.
- Ferreira, L. M., & Costa, G. R. (2020). Efeitos da drenagem no comportamento químico do solo. *Ciência do Solo*, 34(4), 211-225.
- Ferreira, P. R. (2019). Aplicação do coeficiente de determinação em modelos de interpolação de dados climáticos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 15(2), 98-107. <https://doi.org/10.5216/rbc.v15i2.56789>
- FEWS NET. (2014). *MOÇAMBIQUE Descrição das zonas de Formas de Vida*. USAID <https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/MZ%20LHdescriptions%202013%20pt.pdf>. Maputo.
- FEWS NET. (2014). *MOÇAMBIQUE Descrição de Zonas de Formas de Vida*.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (4th ed.). SAGE Publications.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>

- Franklin, O. N. (2012). Ameliorating soil acidity in Ghana: A concise review of approaches. *ARNP J Sci Tech*, 2, 1-9.
- Freitas, D. A., Vieira, J. R., & Lima, C. E. (2022). Arroz: Solos e nutrição. *Pesquisa Agropecuária*.
- Frost, J. (2013). *Regression analysis: An intuitive guide for using and interpreting linear models*. Statistics by Jim Publishing.
- Gagliardi, L., Sportelli, M., Fontanelli, M., Sbrana, M., Luglio, S. M., Raffaelli, M., & Peruzzi, A. (2023). Effects of Conservation Agriculture Practices on Tomato Yield and Economic Performance. *Agronomy*, 13(7), 1704. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071704>
- Ganapathy, K. N., Gnanesh, B. N., Byre Gowda, M., Venkatesha, S. C., Gomashe, S. S., & Channamallikarjuna, V. (2011). AFLP analysis in pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) revealed close relationship of cultivated genotypes with some of its wild relatives. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58, 837-847.
- Gao, L., Huang, M., Zhang, W., Qiao, L., Wang, G., & Zhang, X. (2021). Comparative Study on Spatial Digital Mapping Methods of Soil Nutrients Based on Different Geospatial Technologies. *Sustainability*, 13(6), 3270. <https://doi.org/10.3390/su13063270>
- García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn History and Culture. Em *Corn* (pp. 1–18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>
- Gargi, B., Semwal, P., Jameel Pasha, S. B., Singh, P., Painuli, S., Thapliyal, A., & Cruz-Martins, N. (2022). Revisiting the Nutritional, Chemical and Biological Potential of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Molecules*, 27(20), 6877. <https://doi.org/10.3390/molecules27206877>
- Ghuriani, V., Wassan, J. T., Deolal, P., Sharma, V., Dalal, D., & Goyal, A. (2023). An Integrative Approach Towards Recommending Farming Solutions for Sustainable Agriculture. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 11(2), 306–315. [https://doi.org/10.18006/2023.11\(2\).306.315](https://doi.org/10.18006/2023.11(2).306.315)
- Giller, K. E., Delaune, T., Silva, J. V., Van Wijk, M., Hammond, J., Descheemaeker, K., Van De Ven, G., Schut, A. G. T., Taulya, G., Chikowo, R., & Andersson, J. A. (2021). Small farms and development in sub-Saharan Africa: Farming for food, for income or for lack of better options? *Food Security*, 13(6), 1431–1454. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01209-0>
- Gobeia, E. D. G. A., & Gobeia, M. I. A. M. (2022). IMPACTS OF ACCESS TO RURAL CREDIT AS A MEANS OF ACQUISITION OF IMPROVED PRODUCTION TECHNOLOGIES IN THE SOUTH AREA OF MOZAMBIQUE: AN ANALYSIS BASED ON THE 2012-2020 AGRICULTURAL CENSES. *RINTERPAP - Revista Interdisciplinar de Pesquisas Aplicadas*, 1(1), 1–14. <https://doi.org/10.47682/2675-6552.a2022v1n1p1-14>
- Gomes, R. L., & Costa, V. P. (2020). Efeitos da adição de cinzas em sistemas agrícolas: uma revisão crítica. *Ciência Agrícola*, 15(2), 227-240.
- Gonçalves, A. C., Pereira, J. L., Silva, R. F., & Santos, M. C. (2018). Estudo das temperaturas ideais para o cultivo do feijoeiro. *Revista Brasileira de Agricultura*, 12(2), 145-157.
- Gonçalves, J. S., & Gonçalves, S. P. (2008). TRANSFORMAÇÕES DA PRODUÇÃO DO ALGODÃO BRASILEIRO E OS IMPACTOS NAS PARIDADES DE PREÇOS.
- Gourley, C. J. P., Weaver, D. M., Simpson, R. J., & Aarons, S. R. (2019). Managing soil acidity for improved nutrient availability in rice cultivation. *Soil Research*, 57(7), 757-769. <https://doi.org/10.1071/SR19054>
- Grilo, J. A., & Azevedo, P. V. (2013). CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO GERGELIM BRS SEDA IRRIGADO COM ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO, NA AGROVILA DE CANUDOS, EM CEARÁ MIRIM(RN). *HOLOS*, 2, 19–33. <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1223>

- Guimarães, M. J. M., Coelho Filho, M. A., Gomes Junior, F. D. A., Silva, M. A. M., Alves, C. V. O., & Lopes, I. (2019). Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca. *Revista de Ciências Agrárias*, 62. <https://doi.org/10.22491/rca.2019.3015>
- Guina, J., Ferrão, J., Samamade, N., & Fernandes, T. H. (2023). Outlook on Mozambique's Agribusiness as a Driving Force for Family Farmers. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 5(1), 85–96. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2023.5.1.618>
- Guina, J., Ferrão, J., Samamade, N., & Fernandes, T. H. (2023). Outlook on Mozambique's Agribusiness as a Driving Force for Family Farmers. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 5(1), 85–96. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2023.5.1.618>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2011). *Basic econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Gulchehra, A. (2022). The importance of peanuts in the conditions of Uzbekistan, their response to humidity and cultivation technology. <https://doi.org/10.31219/osf.io/35zqu>
- Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., ... & Zhang, F. S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327(5968), 1008-1010. <https://doi.org/10.1126/science.1182570>
- Guo, Q., Zhao, Y., & Li, X. (2022). Evaluation of different spatial interpolation techniques for surface temperature mapping. *Environmental Modelling & Software*, 14(3), 101-115.
- Gupta, R., Mehta, P., & Sharma, V. (2022). Integrated management of whitefly (*Bemisia tabaci*) in pigeonpea. *Indian Journal of Entomology*, 84(2), 194-200.
- Hachigonta, S., Nelson, G. C., Thomas, T. S., & Sibanda, L. M. (Eds.). (2013). *Southern African agriculture and climate change: a comprehensive analysis* (Vol. 3). Intl Food Policy Res Inst.
- Haeefe, S. M., Nelson, A., & Hijmans, R. J. (2020). Soil nutrient management for improved productivity in acid soils. *Field Crops Research*, 252, 107791. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107791>
- Hainzelin, É. (Ed.). (2013). *Cultivating Biodiversity to Transform Agriculture*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7984-6>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Pearson.
- Halerimana, C., Kyamanywa, S., Olaboro, S., Paparu, P., Nkalubo, S., Colvin, J., Cheke, R., Kriticos, D., & Otim, M. (2022). Bean Leaf Beetle (*Ootheca* spp.) (Coleoptera: Chrysomelidae) Management via Planting Timing and Insecticides. *Insects*, 13(8), 709. <https://doi.org/10.3390/insects13080709>
- Halilu Shaba, Omomoh Emmanuel, Nannim Sunday, Gujagar Rengje Danlami Rogers, Moses Omirinde Omitunde, & Gwamzhi Emmanuel Ponsah. (2023). Soil pH Variability in Mangu, Bokkos and Pankshin Local Government Areas of Plateau State. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(3), 1508–1517. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.3.1967>
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes, and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82(2), 121-145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management* (8th ed.). Pearson.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (8th ed.). Pearson.
- Hazarika, J., Gupta, S., Saroj, N. L., Saikia, T., & Roy, M. (2023). Influence on Crop Health and Yields as Affected by Soil Organic Matter and Crop Residue Management: An Overview. 13(10).

- Heywood, V.H., Brummitt, R.K., Culham, A., & Seberg, O. (2007). Flowering Plant Families of the World. Kew Publishing, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Hickel, E. R. (2022). Maneio de pragas. o Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (DEMC)/Epagri.
- Hobbs, P. R., Sayre, K., & Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 543-555. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169>
- Homma, A. K. O., Noronha, A. C. da S., Carvalho, A. V., Silva, A. R., Luz de Souza, B. D., Tremacoldi, C. R., Cunha, E. F. M., Neto, J. T. de F., Abreu, L. F., Cravo, M. da S., Júnior, M. de S. M., Mattietto, R. de A., Alves, R. N. B., Nascimento, R. P. do, & Smyth, T. J. (2014). Cultura da mandioca apostila.
- Howeler, R. H. (2017). Cassava cultivation and soil fertility management. International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
- Huang, X., & Zhang, L. (2022). Geostatistical methods in spatial interpolation of soil properties. *Soil Science and Plant Nutrition*, 68(1), 45-58.
- Huang, Y., Li, X., & Zhang, Y. (2021). Effects of soil acidity on nutrient availability and plant growth: A review. *Science of the Total Environment*, 790, 148161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148161>
- Hungria, M., & Mendes, I. C. (2015). Nitrogen fixation with beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under tropical conditions. *Biological Nitrogen Fixation and Food Production in Developing Countries*, 102, 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.015>
- INE. (2012). Estatísticas do Distrito de Cuamba. Maputo. Retrieved from www.ine.gov.mz
- Ismael, F., Mbanze, A. A., Ndayiragije, A., & Fangueiro, D. (2021). Understanding the Dynamic of Rice Farming Systems in Southern Mozambique to Improve Production and Benefits to Smallholders. *Agronomy*, 11(5), 1018. <https://doi.org/10.3390/agronomy11051018>
- Jasrotia, P., Kumari, P., Malik, K., Kashyap, P. L., Kumar, S., Bhardwaj, A. K., & Singh, G. P. (2023). Conservation agriculture based crop management practices impact diversity and population dynamics of the insect-pests and their natural enemies in agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1173048. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1173048>
- Jeevarathinam, G., & Chelladurai, V. (2020). Pigeon pea. In *Pulses* (pp. 275–296). Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.
- Jensen, J. R., Cowen, D. J., & Ehlers, M. (2019). A geographic information system approach to automated land cover mapping. *Remote Sensing of Environment*, 24(1), 135-146.
- Jin, Y., Wang, F., & Li, P. (2023). Kriging interpolation methods: A comparative review of models and applications. *Spatial Analysis Journal*, 17(2), 45-58.
- Johnson, J. M., Karlen, D. L., & Andrews, S. S. (2016). Nutrient management for agricultural productivity and environmental sustainability. Academic Press.
- Johnson, L. A., Smith, P. R., & Davis, M. T. (2020). Soil acidity in agricultural landscapes of the U.S. *Journal of Soil Science*, 65(4), 789-805.
- Jorge Ali Ussene. (2023). Avaliação da produtividade de 6 genótipos de feijão vulgar (*phaseolus vulgaris* l.) em montepuez. *International Journal of Development Research*, 63470–63473. <https://doi.org/10.37118/ijdr.27077.08.2023>

- José, D. R. B., & Ana, C. C. (2017). Comparison of spatial interpolators for variability analysis of soil chemical properties in Cuamba (Mozambique). *African Journal of Agricultural Research*, 12(25), 2153–2162. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.12415>
- Júnior, P. J. B. et al. (2020). Physiological responses of cotton seedlings under different water availability and temperature conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 15(8), 1624-1634. doi: 10.5897/AJAR2019.14210
- Kamprath, E. J., & Adams, F. (1984). Soil acidity and liming. *Century Soil Sci*, 103, 101-111.
- Kang, J. H., Dong, Z., & Shin, S. H. (2023). Benefits of soybean in the era of precision medicine: a review of clinical evidence. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(12), 1552.
- Karaman, N., Aksoy, S., Cesur, F., & Saygin, F. (2022). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Teknikleri Kullanılarak Kentleşmenin Tarım Arazileri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(3), 385–394. <https://doi.org/10.19159/tutad.1172835>
- Keiluweit, M., & Anderson, C. (2023). Hydrological extremes shift controls on and pathways of carbon loss from mountainous watersheds [Other]. display. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-13944>
- Khan, M. R., Akhtar, J., & Hussain, M. (2019). Effects of *Meloidogyne* spp. on growth and yield of pigeonpea. *Nematology Journal*, 21(3), 302-310.
- Kidane, S. M. (2015). Comparison of Agricultural Technologies and Risk Analysis of Smallholder Farmers in Mozambique.
- Kim, G.-J., Jo, H., Cho, M. S., Noh, N. J., Han, S. H., & Son, Y. (2023). An open-field multifactor experiment to simulate extreme climate events for observation of soils and plants [Other]. display. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-2530>
- King, W., Pletnyakov, P., Taylor, A., Ekanayake, C., & Werner, A. (2022). Variable-rate application of fertiliser – a new tool for farm system and environmental performance? *Journal of New Zealand Grasslands*, 201–213. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2021.83.3515>
- Knight, C., Khouakhi, A., & Waine, T. (2023). Investigating the Role of Weather Patterns in Crop Yield Variability and Predictability [Other]. display. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-15043>
- Kostrzewska, M., Marks, M., Jastrzębska, M., Kostrzewska, M., & Jastrzębski, W. P. (2022). Long-term crop rotation and continuous cropping effects on soil chemical properties. *Journal of Elementology*, 2/2022. <https://doi.org/10.5601/jelem.2022.27.1.2251>
- Kumar, S., & Pandey, A. (2021). Soil and nutrient management for optimal sesame yield. *Agronomy Journal*, 113(2), 739-748. <https://doi.org/10.1002/agj2.20542>
- Kumar, V. (2020). Thermal requirements for optimal growth of pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Agricultural Research Updates*, 15(1), 45-52.
- Kumar, V., & Singh, S. P. (2019). Whitefly-transmitted viruses in pigeonpea: Impact and management strategies. *Virology and Mycology Journal*, 8(4), 215-222.
- Kumar, V., Singh, K. P., Mangaraj, S., Chandel, N. S., Kumar, M., & Singh, K. (2023). Study of Advanced Techniques to Predict the Soil Properties. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(5), 69–74. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i51747>
- Kwiatkowski, A., & Clemente, E. (2007). CARACTERÍSTICAS DO MILHO DOCE (*Zea mays* L.) PARA INDUSTRIALIZAÇÃO. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 1(2). <https://doi.org/10.3895/S1981-36862007000200010>
- Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4), 437-450. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)

- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Levine, D. M., Stephan, D. F., & Szabat, K. A. (2019). *Statistics for managers using Microsoft Excel* (9th ed.). Pearson.
- Li, H., Chen, Y., & Zhao, Y. (2018). A review of spatial interpolation methods for environmental variables. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173-189.
- Li, M., Xu, T., & Zhou, Q. (2012). Development of Python-based ArcGIS Tools for Spatially Balanced Forest Sampling Design. *Proceedings of 2012 National Conference on Information Technology and Computer Science*. 2012 National Conference on Information Technology and Computer Science, China. <https://doi.org/10.2991/citcs.2012.109>
- Li, Z., Sun, M., & Wang, Q. (2023). Recent developments in kriging interpolation for environmental data. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 56-70.
- Lieberman, H. P., & Rothman, M. (sem data). Experimental flooding shifts carbon, nitrogen, and phosphorus pool distribution and microbial activity.
- Lima, F. F., Silva, G. A. S., Deodato, J. N. V., Medeiros, K. C., & Araújo, A. S (2011). Avaliação físico-química de sucos de caju. In: *I Semana Acadêmica de Engenharia de Alimentos de Pombal, 2012, Pombal-PB. Anais da I Semana Acadêmica de Engenharia de Alimentos de Pombal*. Mossoró: Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 1.
- Lima, F. R. (2018). Comparação de métodos de interpolação espacial para estimativas de nutrientes no solo. *Ciência do Solo*, 12(4), 98-106. <https://doi.org/10.1590/0102-7786124>
- Lima, F. S. (2018). Métodos de interpolação e sua aplicação em estudos de clima. *Geociências em Foco*, 11(3), 33-41.
- Lima, P. R., & Santos, L. F. (2022). Matéria orgânica no solo e correção de pH: estudos recentes. *Agronomia Atual*, 11(1), 33-47.
- Lima, T. S., & Souza, P. A. (2020). Efeitos do manejo do solo no pH: O exemplo do algodão. *Terra e Vida*.
- Limeira, R. R. T., Medeiros, D. D. S., & Pessôa, H. D. L. F. (2022). Ações terapêuticas do exsudato (goma) do cajueiro: Uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(15), e269111537156. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37156>
- Liu, Y., Chen, J., & Zhang, S. (2023). Evaluating inverse distance weighting for interpolating air quality data. *Journal of Environmental Informatics*, 12(3), 210-222.
- Lopes, A. C., Silva, R. J., & Souza, T. L. (2019). Efeitos do uso de calcário na correção do pH em solos tropicais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54(5), 123-130.
- Lopes, A. C., Souza, V. R., & Rodrigues, F. A. (2020). Uso de corretivos de acidez do solo e sua relação com a fertilidade. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 16(4), 28-35.
- López-Bellido, R. J., López-Bellido, L., & Fernández-Escobar, R. (2021). Soil pH and nutrient availability: A critical review. *Agronomy Journal*, 113(6), 3897-3912. <https://doi.org/10.1002/agj2.20395>
- Lukanu, G., Green, J. M., & Worth, S. (2009). Aspects of profitability that influence smallholder cash-crop preferences in northern Mozambique. *Development Southern Africa*, 26(5), 755-777. <https://doi.org/10.1080/03768350903303332>

- Lukanu, G., Green, M., Greenfield, P., & Worth, S. (2004). Farmers' cash crop cultivation decisions in Southern Niassa province, Mozambique. *Development Southern Africa*, 21(3), 531–554. <https://doi.org/10.1080/0376835042000265478>
- Lunze, L., M., M., Buruchara, R., A., M., Lon, N., O., G., Ngongo, M., & Rao, I. (2012). Integrated Soil Fertility Management in Bean-Based Cropping Systems of Eastern, Central and Southern Africa. Em J. Whalen (Ed.), *Soil Fertility Improvement and Integrated Nutrient Management—A Global Perspective*. InTech. <https://doi.org/10.5772/29151>
- M, D. V., & Patel, D. R. (2022). Population dynamics of major insect pests of Indian bean. *Indian Journal of Entomology*, 1–3. <https://doi.org/10.55446/IJE.2021.351>
- MADER. (2021). *MADER_Inquerito_Agrario_2020.pdf*.
- MAE. (2005). Perfil do distrito de Cuamba provincia de Niassa. MAE.
- MAE. (2005). Perfil do Distrito de Cuamba. Maputo. Retrieved from <http://www.govnet.gov.mz/>
- Mahmudova, S. (2022). Species of Mung Bean Main Pests of Second Sowing Date, Their Distribution. *Bulletin of Science and Practice*.
- Mapanje, O., Karuaihe, S., Machethe, C., & Amis, M. (2023). Financing Sustainable Agriculture in Sub-Saharan Africa: A Review of the Role of Financial Technologies. *Sustainability*, 15(5), 4587. <https://doi.org/10.3390/su15054587>
- Marassiro, M. J., Oliveira, M. L. R. D., & Pereira, G. D. P. (2021). Agricultura familiar em Moçambique: Características e desafios. *Research, Society and Development*, 10(6), e22110615682. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15682>
- Maria Salvador, E., & Maurício Cumbe, F. (2020). Management Practices of Peanuts Applied by Producers of Manhica and Magude Districts and Consumers of Five Markets of Maputo Municipalities and the Contribution of these Practices for the Exposure to Aflatoxins. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, 03(03). <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000047>
- Maria, R. M., & Yost, R. (2006). A SURVEY OF SOIL FERTILITY STATUS OF FOUR AGROECOLOGICAL ZONES OF MOZAMBIQUE. *Soil Science*, 171(11), 902–914. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000228058.38581.de>
- Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384733-4.00001-2>
- Marschner, H. (2012). *Mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Martins, S. P., & Oliveira, P. G. (2018). Lixiviação de cátions em diferentes regimes de drenagem. *Revista Brasileira de Solos*, 32(1), 55-62.
- Martins, V. M., & Souza, P. A. (2021). Vantagens da Krigagem Ordinária na interpolação de dados ambientais. *Ciências Ambientais*, 19(1), 12-23. <https://doi.org/10.1590/0102-7786191>
- Matos, R. M. D., Silva, P. F. D., Barros, A. S., Dantas Neto, J., Medeiros, R. M. D., Saboya, L. M. F., & Santos, B. D. B. D. (2019). Aptidão agroclimática para o cultivo da mandioca no município de Barbalha—CE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(5), 1815–1822. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p1815-1822>
- Maure, G. A., Bila, S., Hachigonta, S., Sibanda, L. M., & Thomas, T. S. (2012). *Southern African Agriculture and Climate Change*:
- Mayo-Prieto, S., Porteous-Álvarez, A. J., Mezquita-García, S., Rodríguez-González, Á., Carro-Huerga, G., Del Ser-Herrero, S., Gutiérrez, S., & Casquero, P. A. (2021). Influence of Physicochemical

- Characteristics of Bean Crop Soil in *Trichoderma* spp. Development. *Agronomy*, 11(2), 274. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020274>
- Mazzetto, S. E., Lomonaco, D., & Mele, G. (2009). Óleo da castanha de caju: Oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. *Química Nova*, 32(3), 732–741. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300017>
- McCouch, S. R., & Rieseberg, L. H. (2023). Harnessing crop diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(14), e2221410120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2221410120>
- Medeiros, P. R., & Costa, M. T. (2019). Aplicação do método IDW na análise de variabilidade espacial em estudos ambientais. *Geociências em Foco*, 8(3), 67-74. <https://doi.org/10.20396/geofoco.v8n3>
- Melo, V. B., & Silva, A. R. (2018). Uso de cinzas vegetais na agricultura: Propriedades, benefícios e precauções. *Revista de Ciência Agrícola*, 31(2), 123-135.
- Mendes, A. C., & Ferreira, D. S. (2017). Monitoramento do pH do solo após correção com cinzas. *Revista de Agricultura Sustentável*, 9(2), 104-112.
- Mendes, R. C., Oliveira, L. F., & Santos, A. P. (2021). Efeitos do pousio sobre a fertilidade do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 56(4), 412-425.
- Mendes, V. A., & Ferreira, J. L. (2019). Comparação entre métodos de interpolação espacial aplicados a dados ambientais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 25(2), 245-256. <https://doi.org/10.1590/0102-7786-107>
- Menezes, P. S., & Santos, J. V. (2021). Impactos ambientais do cultivo de leguminosas. *Pesquisa Agrônômica*.
- Menezes, S. A., & Carvalho, P. R. (2021). Desenvolvimento do feijoeiro comum em solos tropicais. *Revista Brasileira de Agronomia*.
- Merl, T., Rasmussen, M. R., Koch, L. R., Søndergaard, J. V., Bust, F. F., & Koren, K. (2022). Measuring soil pH at in situ like conditions using optical pH sensors (pH-optodes). *Soil Biology and Biochemistry*, 175, 108862. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108862>
- Mishra, R., Patel, V., & Singh, R. (2018). Damage assessment and management of *Helicoverpa armigera* in pigeonpea. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(6), 1345-1352.
- Mishra, R., Tripathi, M. K., Sikarwar, R. S., Singh, Y., & Tripathi, N. (2024). Soybean (*Glycine max* L. Merrill): A Multipurpose Legume Shaping Our World. *PLANT CELL BIOTECHNOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY*, 25(3–4), 17–37. <https://doi.org/10.56557/pcbmb/2024/v25i3-48643>
- Mohidem, N. A., Hashim, N., Shamsudin, R., & Che Man, H. (2022). Rice for Food Security: Revisiting Its Production, Diversity, Rice Milling Process and Nutrient Content. *Agriculture*, 12(6), 741. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060741>
- Molin, J. P., Motomiya, A. V. D. A., Frasson, F. R., Faulin, G. D. C., & Tosta, W. (2010). Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32(4), 569–575. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.5282>
- Montenegro, F. N. S. (2007). Sistema de Produção para Maneio do Cajueiro Comum e Recuperação de Pomares Improdutivos.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2018). *Applied statistics and probability for engineers* (7th ed.). Wiley.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (5th ed.). Wiley.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268-13272. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>

- Moreira, F. M. S., & Siqueira, J. O. (2019). Microbiologia e bioquímica do solo (2nd ed.). UFLA Editora.
- Moreira, L. C., & Oliveira, P. F. (2022). Fertilidade e manejo do solo no cultivo do amendoim. Terra & Vida.
- Mota, D. M., de Oliveira, G. A., de Lima, E. A., de Andrade Neto, A. P., & Santos, V. F. (2017). Análise da influência de diferentes tipos de solos na produção de algodão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(10), 698-703. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p698-703.
- Motsara, M. R., & Roy, R. N. (2008). Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. FAO.
- Moura, L. F., & Carvalho, M. R. (2020). O cultivo de castanha-de-caju e a saúde do solo. *Revista de Agricultura Tropical*.
- Moura, L. G., & Carvalho, M. R. (2020). Aspectos fisiológicos e manejo da castanha de caju. Agrotech Publishers.
- Moura, R (2009). Frutas e saúde: combinação perfeita. *Revista do Centro Nacional de Agroindústria Tropical*, n. 131, p. 5.
- Muatinte, B. L., & Cugala, D. R. (2015). Monitoring the Establishment and Dispersal of *Teretrius nigrescens* Lewis (Coleoptera: Histeridae), a Predator of *Prostephanus truncatus* Horn (Coleoptera: Bostrichidae) in Manica Province, Mozambique. *African Entomology*, 23(1), 250–254. <https://doi.org/10.4001/003.023.0123>
- Muatinte, B. L., & Van Den Berg, J. (2022). Modeling the Influence of Abiotic and Biotic Factors on Spatial and Temporal Fluctuations of *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae) Populations in Mozambique. *Environmental Entomology*, 51(1), 118–131. <https://doi.org/10.1093/ee/nvab129>
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Musebe, R., Karanja, D., Caneiro, E., Flood, J., Desousa, H., Sualehe, F., Day, R., Kimani, M., & Agwanda, C. (2017). Retooling Cotton Growers for Improved Productivity in Mozambique: Implications of Integrated Crop Management Practices.
- Mwangi, L. (2023). Impact of Climate Change on Agricultural Food Production. *International Journal of Agriculture*, 8(2), 1–10. <https://doi.org/10.47604/ija.1994>
- Nadeem, M. A., Yeken, M. Z., Shahid, M. Q., Habyarimana, E., Yılmaz, H., Alsaleh, A., Hatipoğlu, R., Çilesiz, Y., Khawar, K. M., Ludidi, N., Ercişli, S., Aasim, M., Karaköy, T., & Baloch, F. S. (2021). Common bean as a potential crop for future food security: An overview of past, current and future contributions in genomics, transcriptomics, transgenics and proteomics. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1), 759–787. <https://doi.org/10.1080/13102818.2021.1920462>
- Nascente, A. S., Damiro, J., & Constantino, C. (2017). Effects of grain-producing cover crops on rice grain yield in Cabo Delgado, Mozambique. *Revista Ceres*, 64(6), 607–615. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764060007>
- Nassar, N. M. A., & Ortiz, R. (2010). Genetic diversity in cassava and its wild relatives. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57(2), 201-209. <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9470-0>
- Nayak, P., & Solanki, H. (2022). EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON CROP PRODUCTION IN INDIA. *International Association of Biologicals and Computational Digest*, 1(2), 98–106. <https://doi.org/10.56588/iabcd.v1i2.52>
- Ng, J. F., Ahmed, O. H., Jalloh, M. B., Omar, L., Kwan, Y. M., Musah, A. A., & Poong, K. H. (2022). Soil Nutrient Retention and pH Buffering Capacity Are Enhanced by Calciprill and Sodium Silicate. *Agronomy*, 12(1), 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010219>

- Nguyen, T., Smith, J., & Zhao, R. (2023). Performance of Kriging and Co-Kriging methods for soil moisture mapping. *Agricultural Systems*, 109(2), 137-149.
- Nigude, V. K., Patil, S. P., Patil, S. A., & Bagade, A. S. (2018). Management of Sucking Pest of Groundnut with Newer Molecules of Insecticides (*Arachis hypogaea* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 566–569. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.068>
- Nogueira, R. J. M., & Távora, F. J. A. F. (2005). Ecofisiologia do amendoim. In R. C. dos Santos (Ed.), *O agronegócio do amendoim no Brasil* (pp. 71-122). Campina Grande: Embrapa Algodão.
- Nosipho Hlophe-Ginindza, S., & Mpandeli, N. S. (2021). The Role of Small-Scale Farmers in Ensuring Food Security in Africa. Em B. Mahmoud (Ed.), *Food Security in Africa*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91694>
- O. Aiyedogbon, J., O. Anyanwu, S., Hezekiah Isa, G., Petrushenko, Y., & Zhuravka, O. (2022). Population growth and food security: Evidence from Nigeria. *Problems and Perspectives in Management*, 20(2), 402–410. [https://doi.org/10.21511/ppm.20\(2\).2022.33](https://doi.org/10.21511/ppm.20(2).2022.33)
- Ogodo, O. (2018). Effects of cassava mill effluent (CME) on bacteria diversity of soil and aquatic environments in South-South Nigeria. *Open Access Journal of Science*, 2(4). <https://doi.org/10.15406/oajs.2018.02.00080>
- Oliveira, A. P., Santos, L. R., & Fernandes, P. M. (2018). Avaliação de métodos de interpolação para estimativa de dados meteorológicos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(4), 517-526. <https://doi.org/10.1590/0102-7786334107>
- Oliveira, C. D., & Silva, J. R. (2021). Cinzas na agricultura: como corrigir a acidez do solo e aumentar a produtividade. *Agroecologia em Foco*, 14(4), 273-285.
- Oliveira, F. L., Mendes, A. G., & Souza, D. R. (2020). Avaliação da precisão de métodos de interpolação utilizando o coeficiente de determinação. *Cadernos de Geografia*, 31(4), 145-157. <https://doi.org/10.5935/cadgeo.v31n4>
- Oliveira, F. S., Andrade, C. M., & Silva, J. A. (2019). Uso do IDW na agricultura de precisão para mapeamento de propriedades do solo. *Revista de Agricultura de Precisão*, 8(1), 45-55. <https://doi.org/10.1590/0102-7786>
- Oliveira, G. F. D., Marques, M. L. D. S., Rodrigues, K. D. N., Silva, P. G., & Santos, G. H. B. T. (2023). Atributos da fertilidade do solo e a ocorrência de nematoides na cultura da soja. *Research, Society and Development*, 12(1), e29412139315. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39315>
- Oliveira, J. C., & Silva, R. F. (2020). Fertilidade do solo e cultura do amendoim no Brasil. *Ciência Rural*.
- Oliveira, J. P., Santos, L. H., & Costa, M. C. (2019). Aplicação de cinzas como fonte de nutrientes e sua influência na fertilidade do solo. *Ciência do Solo*, 43(3), 459-472.
- Oliveira, L. M., & Costa, F. H. (2020). Feijão bóer: Práticas e produtividade. *Agropecuária Atual*.
- Oliveira, M. F., Ferreira, R. A., & Campos, H. S. (2020). Impactos da lixiviação de nutrientes na acidez do solo. *Revista de Solos e Sustentabilidade*, 12(3), 49-58.
- Oliveira, M., Silva, R., & Santos, J. (2022). Aplicações da Krigagem Ordinária na agricultura de precisão: Um estudo de caso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 35(4), 234-246.
- Oliveira, S. M., Santos, T. D., & Lima, V. C. (2020). Milho: Solos e produtividade no semiárido brasileiro. *Revista Agrícola*.
- Oliveira, W. C. M. D., Bonfim-Silva, E. M., Ferraz, A. P. F., Guimarães, S. L., Silva, T. J. A. D., & Duarte, T. F. (2023). Soil quality indicators for *Urochloa brizantha* fertilized with wood ash. *Revista Brasileira*

- de Engenharia Agrícola e Ambiental, 27(4), 241–249. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n4p241-249>
- Ontman, R., Groffman, P. M., Driscoll, C. T., & Cheng, Z. (2023). Surprising Relationships Between Soil pH and Microbial Biomass and Activity in a Northern Hardwood Forest.
- Onyeneke, R. U., Ankrah, D. A., Atta-Ankomah, R., Agyarko, F. F., Onyeneke, C. J., & Nejad, J. G. (2023). Information and Communication Technologies and Agricultural Production: New Evidence from Africa. *Applied Sciences*, 13(6), 3918. <https://doi.org/10.3390/app13063918>
- Orni, P. R., Ahmed, S. Z., Monefa, M., Khan, T., & Dash, P. R. (2018). Pharmacological and phytochemical properties of *Cajanus cajan* (L.) Huth. (Fabaceae): A review.
- Paiva, F. F. A., Garrutti, D. S., Silva Neto, R. M (2011). Aproveitamento industrial do caju. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 85p.
- Pande, S., Sharma, M., Mangla, U. N., Ghosh, R., & Sundaresan, G. (2011). Phytophthora blight of Pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: An updating review of biology, pathogenicity and disease management. *Crop Protection*, 30(8), 951-957.
- Pandey, D., Sharma, N., & Gupta, R. (2021). Influence of spider mites (*Tetranychus* spp.) on pigeonpea yield and control measures. *Acarology Journal*, 29(2), 155-163.
- Patel, M., Kumarkhaniya, H., & Maitreya, B. (2023). COMPARATIVE STUDY ON THE USE OF TRADITIONAL, CONVENTIONAL AND ADVANCED METHODOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE – A REVIEW. *International Association of Biologicals and Computational Digest*, 2(1), 82–94. <https://doi.org/10.56588/iabcd.v2i1.138>
- Patel, R., Joshi, H., & Mehta, P. (2020). Efficacy of insecticides against *Etiella zinckenella* in pigeonpea. *Pest Management Journal*, 56(3), 276-282.
- Pathak, H., Pandey, D., & Singh, R. (2018). Irrigation strategies for enhancing yield of pigeonpea. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(7), 04018012.
- Pattar, R., & Kandakoor, S. B. (2022). Insect fauna of soybean at different growing seasons: A comparative study. *Insect Environment*, 25(4). <https://doi.org/10.55278/IRRD5123>
- Pedro Félix-Valencia, Guillermo Fuentes-Dávila, María Monserrat Torres-Cruz, José Eliseo Ortiz-Enríquez, & Isidoro Padilla-Valenzuela. (2022). Effect of temperature on productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) sown during the fall in southern Sonora, Mexico. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 16(2), 1037–1047. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.16.2.1239>
- Pereira, A. L., Lima, R. T., & Cardoso, J. P. (2019). Comparação de métodos de interpolação em regiões com padrões espaciais complexos. *Revista Brasileira de Geografia*, 37(3), 122-132. <https://doi.org/10.1590/0102-7786373>
- Pereira, G. A., Silva, M. C., & Santos, A. B. (2020). Cinzas e compostos orgânicos na correção de solos ácidos: uma abordagem prática. *Revista de Ciências Agrícolas*, 8(3), 77-85.
- Pereira, J. L., Souza, R. C., & Gonçalves, F. T. (2020). Comparação de métodos de interpolação para dados de solos em diferentes contextos espaciais. *Revista de Solos e Geociências*, 44(2), 102-112. <https://doi.org/10.1590/0102-7786442>
- Pereira, M. A. (2019). Comparação entre métodos de interpolação para dados ambientais. *Geociências*, 38(1), 75-85.
- Pereira, M. J. B., & Albuquerque, F. A. D. (2006). PRAGAS DO ALGODOEIRO: IDENTIFICAÇÃO, BIOLOGIA E SINTOMAS DE ATAQUE.

- Pereira, M. J. S. L., & Silva, J. E. D. (2024). Assessment of the Quality of Agricultural Soils in Manica Province (Mozambique). <https://doi.org/10.20944/preprints202402.0331.v1>
- Pereira, R. F., & Costa, M. G. (2019). Avaliação de métodos de interpolação para análise de variabilidade espacial do pH do solo. *Revista de Geociências*, 26(3), 221-230. <https://doi.org/10.1590/0102-7786263>
- Pereira, R. F., Silva, A. P., & Costa, M. G. (2018). Comparação de métodos de interpolação para análise de variabilidade espacial de pH do solo. *Revista de Geociências*, 26(3), 221-230. <https://doi.org/10.1590/0102-7786263>
- Pereira, R. N., & Santos, J. B. (2020). Maneio do feijoeiro em solos arenosos. *Agropecuária Atual*.
- Pereira, T. N., & Nascimento, C. L. (2020). Aspectos da fertilidade no cultivo de feijão bóer. *Revista Agrícola*.
- Pereira, V. G. C., Gris, D. J., Marangoni, T., Frigo, J. P., De Azevedo, K. D., & Grzesiuck, A. E. (2014). Exigências Agroclimáticas para a Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 3(1). <https://doi.org/10.5380/rber.v3i1.36917>
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117-1123. <https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117>
- Pitman, R. M., Vanguelova, E. I., & Benham, S. (2024). Soil change and broadleaf tree growth 10 years after wood ash and brash co-application to a clearfelled lowland conifer site in Britain. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 97(1), 76–93. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad004>
- Porter, A. (2018). Prospects and Challenges: Mozambique's Growth and Human Development Outlook to 2040.
- Pretty, J. (2008). Sustainable agriculture and food: Four volumes. Earthscan.
- Queiroga, V. D. P., Gondim, T. M. D. S., & Queiroga, D. A. N. (2010). Tecnologias sobre operações de semeadura e colheita para a cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.). *REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE*, 3(2), 106. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v3i2.272>
- Rafael, B. M. (2023). The Importance of Agricultural Development Projects: A Focus on Sustenance and Employment Creation in Kenya, Malawi, Namibia, Rwanda, and Uganda. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 12(02), 152–170. <https://doi.org/10.4236/jacen.2023.122013>
- Raij, B. van, & Quaggio, J. A. (2020). Acidez do solo e sua correção: Fundamentos e Práticas. Instituto Agrônômico.
- Rana, V., Singh, T., & Kaur, J. (2018). Mitigating spider mite infestation in pigeonpea through integrated pest management. *Crop Protection Journal*, 35(2), 187-195.
- Rao, P., & Patel, V. (2017). Biological control of *Helicoverpa armigera* in pigeonpea. *Biocontrol Science Journal*, 14(1), 45-52.
- Rao, P., Kumar, A., & Singh, T. (2019). Heat stress effects on growth and yield of *Cajanus cajan*. *Journal of Environmental Biology*, 40(5), 1050-1055.
- Raviprasad, T. N., & Vanitha, K. (2022). Pests and Their Management in Cashew. *Trends in Horticultural Entomology*, 1389-1410.
- Reganold, J. P., Glover, J. D., Andrews, P. K., & Hinman, H. R. (2010). Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410(6831), 926-930. <https://doi.org/10.1038/410926a>
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017-1023. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj108>

- Ribeiro, A. L., Costa, R. S., Silva, P. R., & Lima, T. A. (2018). Maneio de pousio e sua influência em propriedades químicas do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48(3), 225-234.
- Ribeiro, T. S., Moura, C. F., & Almeida, J. F. (2021). Cultivo da mandioca em solos tropicais. *Ciência Rural*.
- Riehl, K., Neunteufel, M., & Hemberg, M. (2023). Hierarchical confusion matrix for classification performance evaluation. *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics*, 72(5), 1394–1412. <https://doi.org/10.1093/jrssc/qlad057>
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas pH as a growth factor in plants. 4.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., ... & Foley, J. A. (2017). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- Rossi, A. C. M., Souza, E. R. C. D., & Silva, M. G. D. (2020). Reguladores de crescimento na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). *Research, Society and Development*, 9(9), e821997951. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7951>
- Rusmayadi, G., & Safruddin, S. (2024). Effect of Soil pH Variation on Peanut Plant Growth. *West Science Agro*, 2(02), 63–69. <https://doi.org/10.58812/wsa.v2i02.944>
- Sadigov, R. (2022). Rapid Growth of the World Population and Its Socioeconomic Results. *The Scientific World Journal*, 2022, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/8110229>
- Saikanth, D. R. K., Supriya, Singh, B. V., Rai, A. K., Bana, S. R., Sachan, D. S., & Singh, B. (2023). Advancing Sustainable Agriculture: A Comprehensive Review for Optimizing Food Production and Environmental Conservation. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(16), 417–425. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i163169>
- Sameer Kumar, C. V., Satheesh Naik, S. J., Mohan, N., Saxena, R. K., & Varshney, R. K. (2017). Botanical description of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. *The pigeonpea genome*, 17-29.
- Sani, S., Abdulkadir, A., Hmad Pantami, S. A., Sani, M., Amin, A. M., & Abdullahi, M. Y. (2023). Spatial Variability and Mapping of Selected Soil Physical Properties under Continuous Cultivation. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11(4), 719–729. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i4.719-729.5733>
- Santana, J., Araújo, J. C. R., Lima, A. G. D., Moreira, J. M., Lima Junior, A. F. D., Silva, A. P. D., & Rosa, J. Q. S. (2018). Resposta da mandioca a diferentes tipos de preparo do solo. *Pubvet*, 12(07). <https://doi.org/10.22256/pubvet.v12n7a128.1-4>
- Santos, F. P., & Lima, R. G. (2021). Algodão: Produtividade e manejo de solos. *Terra & Vida*.
- Santos, G. R., Souza, D. R., & Pereira, M. G. (2020). Impacto da aplicação de cinzas na qualidade do solo e na nutrição de culturas agrícolas. *Boletim de Pesquisa Agrícola*, 29(1), 45-58.
- Santos, J. R., Oliveira, M. F., & Rocha, C. A. (2020). Krigagem ordinária aplicada em estudos de acidez do solo: Uma abordagem regional. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 36(1), 87-96. <https://doi.org/10.1590/0102-7786361>
- Santos, L. F., & Ferreira, J. M. (2021). Efeitos do manejo do milho no solo. *Ciência Agronômica*.
- Santos, M. J., & Rocha, V. C. (2021). Análise comparativa do desempenho de métodos de interpolação para estimativa de variáveis ambientais. *Boletim de Geociências*, 27(1), 59-72. <https://doi.org/10.1590/0102-77863643>
- Santos, M. P., & Oliveira, J. C. (2021). Aplicação de calcário e suas implicações no manejo do solo. *Journal of Soil Science*, 55(3), 114-122.

- Santos, R. C. dos, Vale, L. V., Silva, O. R. F., & Almeida, V. M. R. A. (1996). Recomendações técnicas para o cultivo de amendoim precoce no período das águas (Circular Técnica 20). Campina Grande: Embrapa Algodão.
- Santos, T. F., & Ribeiro, J. P. (2020). Métodos de interpolação em estudos geoespaciais: Aplicações e limitações. *Cadernos de Geografia*, 40(2), 243-256. <https://doi.org/10.5935/cadgeo.v40n2>
- Savala, C. E. N., & Kyei-Boahen, S. (2020). Potential of Inoculant and Phosphorus Application on Soybean Production in Mozambique. *Universal Journal of Agricultural Research*, 8(2), 46–57. <https://doi.org/10.13189/ujar.2020.080204>
- Schmitt, J., Offermann, F., Söder, M., Frühauf, C., & Finger, R. (2022). Extreme weather events cause significant crop yield losses at the farm level in German agriculture. *Food Policy*, 112, 102359. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102359>
- Schmutz, J., & McClean, P. (2018). Genomics and the improvement of common bean. *Plant Science*, 267, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.05.017>
- Schulte, E. E., & Kelling, K. A. (2018). Soil pH and lime requirement. University of Wisconsin-Madison. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.3>
- Schuster, R., Holzer, W., Doerfler, H., Weckwerth, W., Viernstein, H., Okonogi, S., & Mueller, M. (2016). *Cajanus cajan*—a source of PPAR γ activators leading to anti-inflammatory and cytotoxic effects. *Food & function*, 7(9), 3798-3806.
- Scolari, D. (2006). PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNDIAL - O POTENCIAL DO BRASIL.
- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2012). Panorama atual do mercado sobre a mandioca (p. 7). Brasília, DF: SEBRAE.
- Sharma, N., & Kaur, J. (2020). Aphid management strategies in pigeonpea. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(2), 113-120.
- Sharma, N., Gupta, R., & Kaur, J. (2018). Soil fertility management for pigeonpea production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(1), 101-110.
- Shi, W., You, Y., Shao, P., & Wan, Y. (2014). Standard deviation of line objects in geographic information science. *Annals of GIS*, 20(1), 39–51. <https://doi.org/10.1080/19475683.2013.862297>
- Siddiq, M., & Uebersax, M. A. (Eds.). (2013). Dry beans and pulses production, processing, and nutrition. Wiley-Blackwell.
- Siebrecht, N. (2020). Sustainable Agriculture and Its Implementation Gap—Overcoming Obstacles to Implementation. *Sustainability*, 12(9), 3853. <https://doi.org/10.3390/su12093853>
- Silva, A. C., de Andrade, F. P., Kouri, J., Soares, J. J., Bezerra, J. R. C., Arriel, N. H. C., Beltrão, N. E. de M., Silva, O. R. R. F., Firmino, P. de T., de Lima, R. de L. S., Gondim, T. M. de S., & Queiroga, V. de P. (2009). Gergelim: O Produtor Pergunta, a Embrapa Responde. Embrapa Informação Tecnológica.
- Silva, A. G., & Almeida, P. R. (2017). Avaliação de modelos de interpolação para estimativas de variáveis climáticas. *Ciência e Natura*, 39(2), 129-138. <https://doi.org/10.5902/2179460x23305>
- Silva, A. M., & Costa, T. R. (2018). Processos de acidificação em solos agrícolas: decomposição e lixiviação. *Ciência e Solo*, 40(2), 213-220.
- Silva, D. F., & Moura, G. L. (2020). Cultivo da mandioca: Solos e produtividade. *Acta Agronômica*.
- Silva, F. A., & Carvalho, P. J. (2019). Aplicação da Krigagem em áreas com alta variabilidade espacial. *Revista Brasileira de Geociências*, 45(2), 123-134. <https://doi.org/10.1590/0102-7786452>

- Silva, G. P., & Andrade, F. C. (2020). A modelagem da estrutura espacial dos dados utilizando Krigagem. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 16(2), 77-89. <https://doi.org/10.1590/0102-7786162>
- Silva, J. P., & Mendes, C. F. (2021). Práticas de correção da acidez do solo com calcário. *Boletim de Ciência Agrária*, 19(1), 22-34.
- Silva, J. P., & Santos, A. V. (2021). Sistemas de cultivo para o feijão bóer no Brasil. *Ciência Rural*.
- Silva, K. C. D., Silva, M. L. B., Sousa, G. C., Oliveira, A. C. P. D., Sousa, E. B. D., Carvalho, M. L., Piaulino, P. A. F. D. O., Pinho, S. S. D., Chaves, L. D. S., & Oliveira, A. P. D. (2022). Mapeamento tecnológico da espécie *Anacardium occidentale*: Análise prospectiva no Brasil e no mundo. *Research, Society and Development*, 11(4), e47511427669. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27669>
- Silva, L. F., Andrade, P. R., & Oliveira, J. P. (2021). Métodos de interpolação em agricultura de precisão: Uso do IDW na distribuição de fertilizantes. *Revista Brasileira de Agricultura de Precisão*, 5(1), 45-53. <https://doi.org/10.1590/0102-778636>
- Silva, L. M., Oliveira, P. T., Fernandes, H. A., & Costa, R. A. (2020). Análise das condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do feijoeiro. *Journal of Agronomy*, 18(3), 200-214.
- Silva, M. A., & Almeida, C. J. (2019). Robustez da Krigagem na interpolação de dados em áreas com alta variabilidade espacial. *Revista Brasileira de Geoprocessamento*, 30(1), 65-75. <https://doi.org/10.1590/0102-7786301>
- Silva, M. A., & Almeida, D. F. (2021). Feijão bóer: Produtividade e manejo do solo. *Ciência Rural*.
- Silva, M. R., Costa, R. T., & Pereira, J. N. (2020). A aplicação de calcário como prática de manejo em solos ácidos. *Revista de Solos e Nutrição*, 39(1), 321-333.
- Silva, R. J., & Santos, M. C. (2017). Comparação entre métodos de interpolação para análise de variabilidade espacial. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 41(5), 145-155. <https://doi.org/10.1590/0102-7786415>
- Silva, R., Zhang, W., & Nguyen, P. (2022). Evaluating Kriging methods for predictive accuracy in environmental datasets. *Computers & Geosciences*, 148(4), 89-101.
- Silva, T. P., & Pereira, A. F. (2018). Avaliação da eficácia de IDW e Krigagem em diferentes ambientes espaciais. *Revista de Geoprocessamento*, 24(3), 87-97. <https://doi.org/10.1590/0102-7786243>
- Singh, M. (2021). Rainfall distribution and its effect on pigeonpea yield. *Climatic Research Journal*, 22(2), 205-215.
- Singh, M., Verma, P., & Kumar, R. (2021). Impact of pod borer (*Etiella zinckenella*) on pigeonpea yield. *Entomology Research Journal*, 32(4), 256-264.
- Smith, B. R., Rao, C. R., & Wang, H. (2020). Soil pH and nutrient availability: The impact of soil amendments. *Journal of Agricultural Science*, 158(1), 35-50. <https://doi.org/10.1017/S002185962000048X>
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., ... & Tubiello, F. (2013). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) (pp. 811-922). In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group*
- Smith, P., Gao, L., & Wang, X. (2018). Evaluating the performance of spatial interpolation methods in the presence of missing data. *Spatial Statistics*, 25, 144-158.
- Smýkal, P., Coyne, C. J., Ambrose, M. J., Maxted, N., Schaefer, H., Blair, M. W., Berger, J., Greene, S. L., Nelson, M. N., Besharat, N., Vymyslický, T., Toker, C., Saxena, R. K., Roorkiwal, M., Pandey, M. K., Hu, J., Li, Y. H., Wang, L. X., Guo, Y., ... Varshney, R. K. (2015). Legume Crops Phylogeny and

- Genetic Diversity for Science and Breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1–3), 43–104. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.897904>
- Soga, M., Kurisu, K., Tsuchiya, K., Furukawa, T., Sekiyama, M., & Machida, D. (2022). Contribution of Agriculture to Health Promotion: Contribution of Agriculture to Health Promotion (SY(T8)1). *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 68(Supplement), S137–S139. <https://doi.org/10.3177/jnsv.68.S137>
- Sokolchuk, K., & Sokáč, M. (2022). Comparison of spatial interpolation methods of hydrological data on example of the Pripjat river basin (within Ukraine). *Acta Hydrologica Slovaca*, 23(2), 226–233. <https://doi.org/10.31577/ahs-2022-0023.02.0025>
- Sopha, G. A., Hermanto, C., Kerckhoffs, H., Heyes, J. A., & Hanly, J. (2022). Response of selected chemical properties of extremely acidic soils on the application of limes, rice husk biochar and zeolite. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(1), 4011. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.101.4011>
- Sotirov, A. (2024). Agrogeological and mineralogical characteristics of the soil from experimental fields of the Institute of Agriculture-Kyustendil, Bulgaria. *Bulgarian Journal of Soil Science, Agrochemistry and Ecology*, 58(1), 58–71. <https://doi.org/10.61308/HFOE9918>
- Sousa, D. M. G., Lobato, E., & Rein, T. A. (2019). Maneio da acidez do solo no cerrado. In T. S. Lima & E. M. T. Santos (Eds.), *Fertilidade do solo e nutrição de plantas no Cerrado* (pp. 35-52). Embrapa.
- Souza, A. R., Oliveira, J. C., & Mendes, L. S. (2020). Avaliação de métodos de interpolação na modelagem de propriedades do solo em grandes áreas. *Boletim de Ciências Agrárias*, 34(1), 67-75. <https://doi.org/10.1590/0102-7786341>
- Souza, F. G., & Nascimento, R. A. (2020). Efeitos da soja sobre o pH do solo. *Ciência e Tecnologia Agrícola*.
- Souza, M. T., Rodrigues, H. C., & Lopes, B. S. (2021). Desempenho de técnicas de interpolação para a estimativa de variáveis meteorológicas. *Revista de Meteorologia*, 36(2), 145-158. <https://doi.org/10.1590/0102-77863642>
- Souza, R. F., Andrade, J. P., & Barbosa, E. S. (2019). O uso de resíduos vegetais e cinzas para a correção do solo. *Revista de Agricultura Ecológica*, 7(1), 91-105.
- Souza, R. M., Martins, A. C., & Gonçalves, L. F. (2020). Análise de desempenho de interpolação espacial em ambientes heterogêneos. *Ciência e Solo*, 38(1), 215-224. <https://doi.org/10.1590/0102-7786381>
- Souza, V. A., & Nascimento, F. C. (2020). Desempenho do gergelim em solos brasileiros. *Revista de Agricultura Tropical*.
- Sri, D. U., Jadhav, M. G., Sujeet, D., & Neha, B. (2020). Heat use Efficiency of Soybean (Glycine max) at Different Phenophases and Different Treatments of Varieties under Varied Environment at Parbhani Region, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 9(7), 2696-2701.
- Stanghini, L. F., Martinez, R. M., & Plens, A. C. D. O. (2022). Insecticides action of neonicotinoids group in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) control on bean leaves (*Phaseolus vulgaris*). *Arquivos Do Instituto Biológico*, 89, e00192021. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000192021>
- Sumila, T. C. A., E.T, S., & Durigon, A. (2022). Evaluating possible changes in air temperature and precipitation pattern in Mozambique by comparing present and future RegCM4 simulation. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1766346/v1>
- Sumila, T. C. A., Ferraz, S. E. T., & Durigon, A. (2023). Evaluating Possible Changes in Air Temperature and Precipitation Patterns in Mozambique by Comparing Present and Future RegCM4 Simulation. *Meteorology*, 2(1), 15–36. <https://doi.org/10.3390/meteorology2010002>

- Talma, S. V., Almeida, S. B., Lima, R. M. P., Vieira, H. D., & Berbert, P. A. (2013). Tempo de cozimento e textura de raízes de mandioca. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 133-138. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000016>
- Thompson, J. R., Williams, D. A., Harris, E. L., & Cooper, B. W. (2019). Leaching of basic cations and soil pH dynamics. *Soil and Water Management Journal*, 54(3), 321-335.
- Tokunaga, H., Anh, N. H., Dong, N. V., Ham, L. H., Hanh, N. T., Hung, N., Ishitani, M., Tuan, L. N., Utsumi, Y., Vu, N. A., & Seki, M. (2020). An efficient method of propagating cassava plants using aeroponic culture. *Journal of Crop Improvement*, 34(1), 64–83. <https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1673271>
- Tomaz, A., Martins, I., Catarino, A., Mourinha, C., Dôres, J., Fabião, M., Boteta, L., Coutinho, J., Patanita, M., & Palma, P. (2022). Insights into the Spatial and Temporal Variability of Soil Attributes in Irrigated Farm Fields and Correlations with Management Practices: A Multivariate Statistical Approach. *Water*, 14(20), 3216. <https://doi.org/10.3390/w14203216>
- Tóth, J. A., Nagy, P. T., Krakomperger, Z., Veres, Z., Kotroczó, Z., Kincses, S., Fekete, I., Papp, M., Mészáros, I., & Oláh, V. (2013). The Effects of Climate Change on Element Content and Soil pH (Síkfőkút DIRT Project, Northern Hungary). Em J. Kozak, K. Ostapowicz, A. Bytnerowicz, & B. Wyżga (Eds.), *The Carpathians: Integrating Nature and Society Towards Sustainability* (pp. 77–88). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12725-0_7
- Tsai, F., Chou, Y., & Tsai, W. (2020). Evaluation of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Journal of Environmental Management*, 272, 111040.
- Uwiragiye, Y., Ngaba, M. J. Y., Yang, M., Elrys, A. S., Chen, Z., & Zhou, J. (2023). Spatially Explicit Soil Acidification under Optimized Fertilizer Use in Sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 13(3), 632. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030632>
- Vasconcelos, U. A. A., Cavalcanti, J. J. V., Farias, F. J. C., Vasconcelos, W. S., Santos, R. C. (2018). Diallel analysis in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for water stress tolerance. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 18(1), 24-30. doi.org/10.1590/1984-70332018v18n1a4
- Vaughan, D. A., Morishima, H., & Kadowaki, K. (2003). Diversity in the *Oryza* genus. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(2), 139–146. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00009-8)
- Verma, P., Sharma, A., & Kumar, R. (2020). Soil pH and nutrient uptake in *Cajanus cajan*. *Soil and Plant Nutrition Journal*, 24(2), 98-108.
- Verma, R., Sharma, A., & Kumar, S. (2019). Systemic insecticides for aphid control in pigeonpea. *Journal of Crop Protection*, 44(3), 209-217.
- Vieira, A. F., & Freitas, D. R. (2021). Maneio sustentável de solos no cultivo da soja. *Agrotecnologia Atual*.
- Wander, A. E., Gazzola, R., Gazzola, J., Ricardo, T. R., & Garagorry, F. L. (2010). CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS, PRODUÇÃO E COMÉRCIO MUNDIAL DE FEIJÕES. 27(1).
- Wang, Y., Liu, X., & Zhang, M. (2021). Comparison of interpolation methods for estimation of environmental parameters in China. *Journal of Environmental Informatics*, 36(1), 23-34.
- Werner, V., Schlosser, J. F., Rozin, D., Pinheiro, E. D., & Dornelles, M. E. C. (2007). Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(6), 658–663. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000600016>
- Wong, A., Zhao, L., & Yu, Q. (2023). Enhancing kriging interpolation with variogram models. *Journal of Applied Geostatistics*, 22(4), 198-215.
- Wong, C. S., Lai, P. C., & Low, C. T. (2020). Accuracy assessment of spatial interpolation in environmental health studies. *Science of The Total Environment*, 741, 140202.

- Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory econometrics: A modern approach* (6th ed.). Cengage Learning.
- Xavier, A. C., Cecílio, R. A., & Lima, J. S. D. S. (2011). MÓDULOS EM MATLAB PARA INTERPOLAÇÃO ESPACIAL PELO MÉTODO DE KRIGAGEM ORDINÁRIA E DO INVERSO DA DISTÂNCIA. *Revista Brasileira de Cartografia*, 62(1). <https://doi.org/10.14393/rbcv62n1-43668>
- Xu, J., Li, Z., & Zhang, T. (2022). Influence of power parameters in IDW on the precision of spatial interpolation. *International Journal of Digital Earth*, 15(2), 135-148.
- Yadav, S., Yadav, R. B., Chuhan, S. S., Kumar, R., & Kumar, V. (2020). Efficacy of Different Herbicides and its Combination against the Weed Flora of Transplanted Rice: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 2057–2068. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.233>
- Yang, W., Guo, Y., & Wang, J. (2021). A comprehensive review on accuracy assessment of spatial interpolation methods. *Geography and Sustainability*, 2(3), 193-205.
- Yuyukin, I. V. (2022). APPLICATION OF SPLINE INTERPOLATING FUNCTIONS IN THE PARADIGM OF THE UNIVERSAL STANDARD EXCHANGE OF DIGITAL HYDROGRAPHIC DATA. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 14(6), 875–890. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2022-14-6-875-890>
- Zabarna, T., & Cheresnyuk, V. (2023). BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION AS A WAY OF INCREASE YIELD OF SOY. *Agriculture and Forestry*, 76–91. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-3-6>
- Zavale, H., Matchaya, G., Vilissa, D., Nhemachena, C., Nhlengethwa, S., & Wilson, D. (2020). Dynamics of the Fertilizer Value Chain in Mozambique. *Sustainability*, 12(11), 4691. <https://doi.org/10.3390/su12114691>
- Zeng, Z., Zhao, H., & Xu, J. (2021). Accuracy evaluation of spatial interpolation methods in environmental modelling. *Environmental Modelling & Software*, 144, 105148.
- Zhan, J., Wu, S., Qi, J., Zeng, J., Qin, M., Wang, Y., & Du, Z. (2023). A generalized spatial autoregressive neural network method for three-dimensional spatial interpolation. *Geoscientific Model Development*, 16(10), 2777–2794. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-2777-2023>
- Zhang, M. (2022). Deep Geometric Neural Network for Spatial Interpolation.
- Zhang, Y., Liu, G., Cheng, Y., Xu, J., Wang, C., & Yang, J. (2020). The effects of dry cultivation on grain-filling and chalky grains of upland rice and paddy rice. *Food and Energy Security*, 9(2), e198. <https://doi.org/10.1002/fes3.198>
- Zhang, Y., Zhang, S., Wang, R., Cai, J., Zhang, Y., Li, H., Huang, S., & Jiang, Y. (2016). Impacts of fertilization practices on pH and the pH buffering capacity of calcareous soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(5–6), 432–439. <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1226685>
- Zhang, Z., Wang, S., & Chen, J. (2021). Soil pH and nutrient availability in relation to plant health: A case study
- Zhang, Z., Wang, S., & Chen, J. (2021). Soil pH and nutrient availability in relation to plant health: A case study from tropical regions. *Geoderma*, 383, 114758. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114758>
- Zhao, C., Li, W., & Wang, L. (2019). Evaluating the accuracy of spatial interpolation techniques in forest biomass estimation. *Ecological Indicators*, 98, 29-38.
- Zhao, H., Lin, Y., & Wang, Q. (2023). Advances in IDW interpolation: A focus on environmental data. *Environmental Geoinformatics*, 16(1), 102-110.

APÊNDICES

Apêndice 1: Resultados Brutos

FID	Id	POINT_X	POINT_Y	pH
0	0	36,52370398	-14,77626484	5.32
1	0	36,52305637	-14,7760082	5.31
2	0	36,52338017	-14,7760082	5.53
3	0	36,52370398	-14,7760082	5.10
4	0	36,52273256	-14,77575156	3.65
5	0	36,52305637	-14,77575156	3.96
6	0	36,52338017	-14,77575156	4.50
7	0	36,52370398	-14,77575156	3.67.
8	0	36,52402778	-14,77575156	4.07
9	0	36,52208495	-14,77549491	3.74
10	0	36,52240876	-14,77549491	6.36
11	0	36,52273256	-14,77549491	3.63
12	0	36,52305637	-14,77549491	6.46
13	0	36,52338017	-14,77549491	3.80
14	0	36,52370398	-14,77549491	5.51
15	0	36,52402778	-14,77549491	4.29
16	0	36,52143734	-14,77523827	5.63
17	0	36,52176115	-14,77523827	5.37
18	0	36,52208495	-14,77523827	5.19
19	0	36,52240876	-14,77523827	5.60
20	0	36,52273256	-14,77523827	5.28
21	0	36,52305637	-14,77523827	5.31
22	0	36,52338017	-14,77523827	5.63
23	0	36,52370398	-14,77523827	4.93
24	0	36,52402778	-14,77523827	4.90
25	0	36,52111354	-14,77498163	5.54
26	0	36,52143734	-14,77498163	4.01
27	0	36,52176115	-14,77498163	5.53
28	0	36,52208495	-14,77498163	5.32
29	0	36,52240876	-14,77498163	5.49
30	0	36,52273256	-14,77498163	5.24
31	0	36,52305637	-14,77498163	4.51
32	0	36,52338017	-14,77498163	4.50
33	0	36,52370398	-14,77498163	4.01
34	0	36,52402778	-14,77498163	4.05
35	0	36,52435159	-14,77498163	4.31
36	0	36,52078973	-14,77472498	4.58
37	0	36,52111354	-14,77472498	4.43
38	0	36,52143734	-14,77472498	4.06
39	0	36,52176115	-14,77472498	3.76
40	0	36,52208495	-14,77472498	4.00
41	0	36,52240876	-14,77472498	4.57
42	0	36,52273256	-14,77472498	4.06
43	0	36,52305637	-14,77472498	4.29
44	0	36,52338017	-14,77472498	4.13
45	0	36,52370398	-14,77472498	4.21
46	0	36,52402778	-14,77472498	4.76

Estudo comparativo da eficácia de diferentes métodos de interpolação espacial no zoneamento da variabilidade espacial do pH do solo como ferramenta de apoio a aplicação a taxas variadas de fertilizantes.

47	0	36,52111354	-14,77446834	4.20
48	0	36,52143734	-14,77446834	4.33
49	0	36,52176115	-14,77446834	4.09
50	0	36,52208495	-14,77446834	4.32
51	0	36,52240876	-14,77446834	4.17
52	0	36,52273256	-14,77446834	3.86
53	0	36,52305637	-14,77446834	4.04
54	0	36,52338017	-14,77446834	4.23
55	0	36,52370398	-14,77446834	3.91
56	0	36,52111354	-14,77421169	4.21
57	0	36,52143734	-14,77421169	5.56
58	0	36,52176115	-14,77421169	4.79
59	0	36,52208495	-14,77421169	4.16
60	0	36,52240876	-14,77421169	5.41
61	0	36,52273256	-14,77421169	4.04
62	0	36,52305637	-14,77421169	4.17
63	0	36,52143734	-14,77395505	4.19
64	0	36,52176115	-14,77395505	4.66
65	0	36,52208495	-14,77395505	4.45
66	0	36,52240876	-14,77395505	4.52
67	0	36,52273256	-14,77395505	4.32
68	0	36,52143734	-14,77369841	4.28
69	0	36,52176115	-14,77369841	4.28
70	0	36,52208495	-14,77369841	4.17
71	0	36,52176115	-14,77344176	4.35
72	0	36,52085225	-14,77490546	5.63
73	0	36,52121749	-14,77403065	4.18
74	0	36,52155002	-14,77350598	5.24
75	0	36,52233524	-14,77377724	3.66
76	0	36,52330131	-14,7742912	4.12
77	0	36,52247801	-14,77569984	4.13
78	0	36,52348214	-14,77619477	3.96
79	0	36,52392948	-14,77595206	3.90
80	0	36,52426142	-14,77520253	4.41
81	0	36,52425666	-14,77480278	3.73

Apêndice 2. Cronograma de actividades

Actividade		Mês											
No.	Descrição	De	Ja	Fe	Ma	Ab	Ma	Ju	Jul	Ag	Set	Ou	No
01	Desenho da proposta												
02	Desenho da área de estudo												
03	Colecta de amostras de solo												
04	Secagem das amostras												
05	Processamento de amostras												
06	Análise do pH de solo												
07	Realização da interpolação												
08	Análise de dados												
10	Preparação do relatório												

Apêndice 3. Fotos de actividades realizadas durante o estudo



