

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO**

**IMPACTOS FÍSICOS E ECONÔMICOS DA EROSÃO HÍDRICA
DO SOLO NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO SUDESTE
DE AMARGOSA, BAHIA**

Danilo Silva Leite

**CRUZ DAS ALMAS – BA
2026**

IMPACTOS FÍSICOS E ECONÔMICOS DA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO SUDESTE DE AMARGOSA, BAHIA

Danilo Silva Leite
Engenheiro Agrônomo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2025

Dissertação apresentada ao Colegiado do Curso do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola (Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

Orientador: Prof. Dra. Isabel Cristina Moraes

**CRUZ DAS ALMAS – BA
2026**

FICHA CATALOGRÁFICA

L533i	Leite, Danilo Silva. Impactos físicos e econômicos da erosão hídrica do solo na produção agropecuária do sudeste de Amargosa, Bahia. / Danilo Silva Leite._ Cruz das Almas, Bahia, 2026. 135f.; il. Orientador: Prof ^a. Dr ^a Isabel Cristina Moraes Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrária, Ambientais e Biológicas, Mestre em Engenharia Agrícola. 1.Solos - Uso. 2. Processos Erosivos do Solo 3. Geoprocessamento. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título. CDD: 631.47
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Central - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Neubler Nilo Ribeiro da Cunha (*Bibliotecário - CRB5/1578*)
(os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO**

**IMPACTOS FÍSICOS E ECONÔMICOS DA EROSÃO HÍDRICA DO
SOLO NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO SUDESTE DE
AMARGOSA, BAHIA**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Danilo Silva Leite:

Aprovado em: 10 / 03 / 2026

Documento assinado digitalmente
 ISABEL CRISTINA MORAES
Data: 05/05/2026 14:49:31-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Isabel Cristina Moraes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 OLDAIR DEL ARCO VINHAS COSTA
Data: 05/05/2026 10:09:56-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Oldair Del Arco Vinhas Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
(Examinador externo)

Documento assinado digitalmente
 EDVANIA APARECIDA CORREIA ALVES
Data: 05/05/2026 14:29:05-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Edvania Aparecida Corrêa Alves
Universidade Federal do Triângulo Mineiro
(Examinador externo)

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha esposa/amiga
Elenilda dos Santos Porcino Leite, que sempre esteve
comigo, e ao meu filho Deivison Porcino Leite
minha nova inspiração de vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela coragem, força e saúde.

À minha família: minha esposa Elenilda dos Santos Porcino, meu filho Deivison Porcino Leite, meu pai David Evangelista Leite Filho, minha mãe Ivoneide da Silva Castro, meus irmãos Darney Silva Leite e Maria Carolina Silva Leite, meu concunhado Georgenes de Oliveira Lima, minha sogra Elza dos Santos Porcino e meu sogro Antônio Santos Porcino, família é base para o crescimento pessoal.

Aos meus amigos de vida: Adriano Guimarães e Marcelo da Silva Martins, por todo o carinho e companheirismo, vocês são maravilhosos.

A minha orientadora, professora Isabel Cristina Moraes, pelos ensinamentos, pela paciência e zelo com meu desenvolvimento, pelo profissionalismo e confiança. A senhora é exemplo de profissional e ser humano que levarei os aprendizados para a vida.

Ao Professor Odílio Coimbra da Rocha Neto pelo apoio e ensinamentos na disciplina Seminários em Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos I.

Ao Professor Oldair Del'Arco Vinhas Costa e ao Doutorando Icaro Barreto Souza, pela ajuda e direcionamento no trabalho.

À Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente de Amargosa (SEAMA) e através dela ao Secretário Igor Brito Santa Rosa e ao Prefeito Júlio Pinheiro pelo acesso aos dados de solo do município.

Ao Coordenador Lucas Melo Vellame e através dele ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, a todos os seus colaboradores e aos colegas e amigos que fiz durante esta jornada.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, por me proporcionar conhecimento desde a Graduação seguindo para a Pós-Graduação através da qualidade do ensino prestado e apoio ao meu retorno a academia.

A todos que contribuíram para que esta etapa fosse finalizada.

Por fim, aproveito o momento para agradecer e pedir que as universidades continuem apoiando trabalhos que envolvam a qualidade dos solos devido sua importância primordial para a vida dos agricultores através da manutenção de renda sustentável para a atual e futuras gerações.

IMPACTOS FÍSICOS E ECONÔMICOS DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO SUDESTE DE AMARGOSA, BAHIA

RESUMO: As atividades agropecuárias estão na maioria dos municípios brasileiros e contribuem para o PIB Municipal. O município de Amargosa está localizado no estado da Bahia no Território Identidade Vale do Jiquiriça a cerca de 235 Km da capital Salvador. Inserido em dois Biomas (Mata Atlântica e Caatinga), tem como principais atividades agropecuárias a produção de amêndoas de cacau, produção de cachos de banana, raiz de mandioca e pecuária bovina, a área estudada está localizada no Sudeste do município de Amargosa. A alta capacidade de geração de passivos ambientais das atividades agropecuárias, quando realizadas de forma incorreta, aliada a alta relação entre as ações antrópicas e os processos erosivos do solo, justifica pesquisas científicas que venham contribuir no planejamento do uso e ocupação do solo de forma sustentável. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os impactos físicos e econômicos da erosão hídrica no sudeste de Amargosa (BA) utilizando a metodologia EUPS (Equação Universal de Perda de Solos) para estimar erosão laminar e relacionar essa com as perdas de nutrientes no solo e o custo necessário para repô-los. Os fatores da EUPS ($A = R \times K \times L \times S \times C \times P$) foram estimados a partir da interpolação por krigagem dos dados de Erosividade (R), interpolação IDW dos registros físicos (2023) do solo para Erodibilidade (K); uso do Modelo Digital (MDE) e geoprocessamento, conforme o método utilizado por Oliveira *et al.* (2023), para fator topográfico (L S) e mapeamento por classificação supervisionada de imagens do satélite Sentinel 2 para obtenção dos parâmetros (C P), seguindo 4 etapas: a. Revisão bibliográfica; b. Estruturação de dados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG); c. Quantificação da erosão hídrica por modelo preditivo; d. Impactos dos processos erosivos na agropecuária: perda de nutriente e custo de reposição (registros químicos 2021), conforme Marques *et al.* (2005). A partir de geoestatística e técnicas de geoprocessamento no SIG QGIS verificou-se baixa variação nas séries temporais (Jan-Mar, Abr-Jun, Jul-Set e Out-Dez) avaliadas para a Erosividade, com classe entre Média a Baixa; a Erodibilidade foi classificada como moderada (0,0247 a 0,0395 t.ha.h (ha.MJ.mm)⁻¹); o Fator LS apresentou mais de 70 % da área entre as classes Moderada, Alta e Muito Alta. Por sua vez, o Fator C P variou de forma significativa ao longo do ano, com aumentos das áreas com Uso e Manejos que potencializam a erosão (Culturas Temporárias, Pastagem Degradada e Solo Exposto) com maior exposição do solo através do uso inadequado como preparo de solo convencional, manejo incorreto da pastagem e práticas agrícolas que levam ao baixo vigor da vegetação reduzindo a cobertura do solo, especialmente nos trimestres Jan-Mar e Out-Dez, que se caracterizam pela redução do vigor vegetativo da vegetação, exposição do solo e cultivo de culturas temporárias e tradicionais como milho, amendoim e feijão através de preparo convencional do solo sem práticas conservacionistas. Os custos de reposição, relacionados as fontes (Ureia, Super Simples, Cloreto de Potássio e Calcário), evidenciou forte impacto econômico com total anual de 2.870.698,12 R\$ ano⁻¹ (Ureia - 211.099,42, Super Simples - 449.573,30, Cloreto de Potássio - 1.222.300,46 e Calcário - 987.724,94) e variação nos trimestres acompanhando a variação do Fator C P sendo os impactos erosivos registrados em diversas partes da área estudada. Esse estudo pode contribuir auxiliando na definição de políticas públicas seguindo o viés: ambiental, econômico e social.

PALAVRAS-CHAVE: processos erosivos do solo, geoprocessamento, custo de reposição, agropecuária.

PHYSICAL AND ECONOMIC IMPACTS OF WATER EROSION ON SOIL IN AGRICULTURAL PRODUCTION IN SOUTHEASTERN AMARGOSA, BAHIA

ABSTRACT: Agricultural activities are present in most Brazilian municipalities and contribute to the municipal GDP. The municipality of Amargosa is located in the state of Bahia, within the Vale do Jiquiriça Identity Territory, approximately 235 km from the capital, Salvador. Situated within two biomes (the Atlantic Forest and the Caatinga), its main agricultural activities include the production of cocoa beans, banana bunches, cassava roots, and cattle ranching; the study area is located in the southeastern part of the municipality of Amargosa. The high potential for agricultural activities to generate environmental liabilities, when carried out incorrectly, combined with the strong link between human actions and soil erosion processes, justifies scientific research that can contribute to sustainable land use and land cover planning. The objective of this study was to assess the physical and economic impacts of water erosion in southeastern Amargosa (BA) using the USL (Universal Soil Loss) equation to estimate laminar erosion and relate this to soil nutrient losses and the cost required to replenish them. The EUPS factors ($A = R \times K \times L \times S \times C \times P$) were estimated using kriging interpolation of the Erosivity (R) data and IDW interpolation of the physical soil records (2023) for Erodibility (K); use of the Digital Elevation Model (DEM) and geoprocessing, following the method used by Oliveira et al. (2023), for topographic factors (L, S); and supervised classification mapping of Sentinel-2 satellite images to obtain the parameters (C, P), following 4 steps: a. Literature review; b. Data structuring in Geographic Information Systems (GIS); c. Quantification of water erosion using a predictive model; d. Impacts of erosive processes on agriculture: nutrient loss and replacement cost (chemical records 2021), according to Marques et al. (2005). Using geostatistics and geoprocessing techniques in the QGIS GIS, low variation was observed in the time series (Jan–Mar, Apr–Jun, Jul–Sep, and Oct–Dec) evaluated for Erosivity, with a class ranging from Medium to Low; Erodibility was classified as moderate (0.0247 to 0.0395 t.ha.h (ha.MJ.mm)⁻¹); the LS Factor showed more than 70% of the area falling within the Moderate, High, and Very High classes. In turn, Factor C P varied significantly throughout the year, with increases in areas characterized by land uses and management practices that promote erosion (temporary crops, degraded pasture, and exposed soil), resulting in greater soil exposure due to inappropriate practices such as conventional soil preparation, incorrect pasture management, and agricultural practices that lead to low vegetation vigor, reducing soil cover—especially in the Jan–Mar and Oct–Dec quarters, which are characterized by reduced vegetative vigor, soil exposure, and the cultivation of temporary and traditional crops such as corn, peanuts, and beans through conventional tillage without conservation practices. Replacement costs related to inputs (Urea, Super Simples, Potassium Chloride, and Limestone) showed a significant economic impact, with an annual total of R\$ 2,870,698.12 per year (Urea - R\$ 211,099.42, Super Simples - 449,573.30, Potassium Chloride - 1,222,300.46, and Limestone - 987,724.94) and quarterly variations following changes in the C P Factor, with erosion impacts recorded in various parts of the study area. This study can contribute by assisting in the formulation of public policies aligned with environmental, economic, and social objectives.

KEYWORDS: soil erosion processes, geoprocessing, replacement cost, agriculture.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)	21
2.1.1 Erosividade (R)	22
2.1.2 Erodibilidade (K).....	24
2.1.3 Fator Topográfico (LS)	27
2.1.4 Fator Uso da Terra e Práticas Conservacionistas (CP).....	28
2.1.5 Perdas de Solo (A), Potencial Natural de Erosão (PNE), Risco de Erosão (RE) e Uso e Manejo Permissível (CPp)	30
2.2 Erosão e Perda de Fertilidade.....	31
2.3 Interpolação de dados: Krigagem Ordinária, Machine Learning e IDW	33
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1. Caracterização da Área.....	38
3.1.1. Clima	40
3.1.2. Geologia e Geomorfologia	43
3.1.3. Hidrografia, Topografia e Declividade	47
3.1.4. Pedologia	49
3.1.5. Vegetação	51
3.2 Metodologia.....	54
3.3 Erosividade da Chuva (R)	57
3.4 Erodibilidade do Solo (K).....	63
3.5 Fator Topográfico (LS)	64
3.6 Uso do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)	65
3.7. Potencial Natural de Erosão (PNE).....	66
3.8 Perda de Solo (A).....	66
3.9 Risco de Erosão (RE).....	67
3.10 Uso e Manejo Permissível (CPp)	67
3.11. Custo de Reposição com Fertilizantes	68
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1 Erosividade (R)	73
4.2 Erodibilidade (K).....	79
4.3 Fator Topográfico (LS)	81
4.4 Cobertura Vegetal, Uso da Terra e Práticas Conservacionistas (CP)	82
4.5 Potencial Natural de Erosão (PNE).....	85
4.6 Perda de Solo (A).....	88
4.7 Risco de Erosão (RE).....	91

4.8 Uso e Manejo Permissível (CPp)	93
4.9 Custo de Reposição com Fertilizantes	96
4.10 Impactos na Agropecuária de Amargosa	109
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
ANEXOS	129
ANEXO 1 - Documento de solicitação de uso de dados	131
ANEXO 2 - Amostras físicas (textura) do solo da área estudada.....	134
ANEXO 3 - Amostras químicas do solo da área estudada.....	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Gráfico representando o semivariograma	35
Figura 02: Localização do Município de Amargosa.	39
Figura 03: Evolução do PIB da Agropecuária.....	40
Figura 04: Evolução da Produção de Cacau.....	40
Figura 05: Evolução da Produção de Banana.	40
Figura 06: Evolução da Produção de Mandioca.....	40
Figura 07: Evolução da Pecuária Bovina.....	40
Figura 08: Localização da área de estudo.	41
Figura 09: Precipitação e temperatura média ao longo do ano.....	42
Figura 10: Climas encontrados no município de Amargosa.	42
Figura 11: Distribuição das precipitações e temperaturas ao longo do ano	43
Figura 12: Distribuição das precipitações e temperaturas ao longo do ano.....	44
Figura 13: Geologia do Município de Amargosa.	46
Figura 14: Domínios Geomorfológicos do município de Amargosa.....	48
Figura 15: Rede hidrográfica do município de Amargosa.....	49
Figura 16: Hipsometria do município de Amargosa.....	49
Figura 17: Declividade do município de Amargosa.....	50
Figura 18: Distribuição das classes de solos no município de Amargosa.	51
Figura 19: Variedade de vegetações e biomas no município de Amargosa.	54
Figura 20: Fluxograma da primeira etapa para obter a Perda de Solo (A).....	56
Figura 21: Fluxograma da segunda etapa e análise comparativa do uso e manejo... 57	
Figura 22: Fluxograma da terceira etapa para analisar os impactos da erosão na agropecuária.	58
Figura 23: Fluxograma para obtenção da variabilidade espacial da Erosividade.....	60
Figura 24: Distribuição das bases meteorológicas utilizadas na pesquisa.....	61
Figura 25: Distribuição das amostras de solo na área de estudo.....	64
Figura 26: Distribuição das amostras de solo na área de estudo.....	70
Figura 27: Análise de normalidade da erosividade trimestral e anual dos Municípios selecionados.	76
Figura 28: Variação da Erosividade ($\text{MJ.mm.ano.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$) trimestral e anual para a área estudada.	79
Figura 29: Classes de Erosividade encontradas na área de estudo.	80
Figura 30: Variação da Erodibilidade $\text{t.ha.h (ha.MJ.mm)}^{-1}$ e Classes encontradas na área estudada.	82
Figura 31: Variação do Fator LS na área estudada.....	83
Figura 32: Variação do Uso e Ocupação do Solo nas séries temporais avaliadas....	84
Figura 33: Variação das áreas de Uso e Ocupação do Solo nas séries temporais avaliadas.	86
Figura 34: Variação do PNE ($\text{t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ao longo das séries temporais estudadas.	87
Figura 35: Variação das áreas relacionadas as classes de PNE dentro das séries temporais avaliadas.....	88
Figura 36: Variação anual das áreas relacionadas as classes de PNE.....	89
Figura 37: Variação do Perda de Solo ($\text{t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ao longo das séries temporais estudadas.....	89
Figura 38: Variação das áreas relacionadas as classes de Perda de Solo dentro das séries temporais avaliadas.....	92
Figura 39: Variação anual das áreas relacionadas as classes de Perda de Solo.....	92
Figura 40: Variação do RE ao longo das séries temporais analisadas.....	93
Figura 41: Variação das áreas ocupadas dentro das classes de RE nas séries	

temporais avaliadas.....	94
Figura 42: Uso e Manejo Permissível e variação do mesmo ao longo das séries temporais estudadas..	95
Figura 43: Distribuição das áreas relacionadas ao Uso e Manejo Permissível para a área estudada..	97
Figura 44: Densidade do solo (Kg dm^{-3}) e sua variação com tendência de menores valores no Setor Norte.....	98
Figura 45: Variação da profundidade (cm) potencial de remoção de solo nas séries temporais avaliadas.....	99
Figura 46: Avaliação da normalidade dos dados de fertilidade do solo com destaque para distribuição normal de Nitrogênio e Cálcio..	100
Figura 47: Fertilidade do solo para Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Cálcio na área de estudo.....	103
Figura 48: Custos de Reposição nas séries temporais avaliadas para a área estudada com destaque para o Cloreto de Potássio.....	110
Figura 49: Pontos com processos com diferentes processos erosivos e movimentos de massa registrados em campo.....	112
Figura 50: Documento de solicitação de uso referente aos dados de solo da Prefeitura Municipal de Amargosa.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classes de Erosividade mensal e anual	24
Tabela 02: Classes de Erodibilidade do solo	26
Tabela 03: Classes do Fator Topográfico do solo.....	27
Tabela 04: Classes de Uso e Ocupação da Terra (CP)	29
Tabela 05: Classificação da Perda de solo (A), Potencial Natural de Erosão (PNE) e Risco de Erosão (RE)	31
Tabela 06: Perdas de nutrientes em função da porcentagem de cobertura do solo	33
Tabela 07: Modelos teóricos de variogramas com patamar.....	36
Tabela 08: Bases meteorológicas utilizadas para obtenção da Erosividade.....	60
Tabela 09: Dados pluviométricos dos municípios selecionados	62
Tabela 10: Critérios utilizados na escolha do melhor interpolador	65
Tabela 11: Valores relacionados ao Fator CP para diferentes usos e ocupação da terra	66
Tabela 12: Nutrientes, fertilizantes e características químicas	72
Tabela 13: Valores relacionados as Erosividades ($\text{MJ.mm.ano.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$) Trimetais e Anual	74
Tabela 14: Estatística descritiva das séries temporais avaliadas	75
Tabela 15: Parâmetros encontrados através da krigagem Ordinária.....	77
Tabela 16: Classes de Erosividade e suas áreas	80
Tabela 17: Classes, área e porcentagem de ocupação Fator LS	83
Tabela 18: Áreas relacionadas as classes de uso e ocupação do solo e as qualidades de classificação.....	84
Tabela 19: Porcentagens relacionadas as classes de uso e ocupação do solo	84
Tabela 20: Classes de PNE ($\text{t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e suas respectivas áreas de ocupação ..	88
Tabela 21: Classes de PNE ($\text{t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e suas respectivas porcentagens de ocupação	88
Tabela 22: Classes de Perda de Solo ($\text{t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e suas respectivas áreas de ocupação	90
Tabela 23: Classes de Perda de Solo ($\text{t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e suas respectivas porcentagens de ocupação.....	90
Tabela 24: Classes de Risco (RE) e suas respectivas áreas de ocupação	94
Tabela 25: Classes de Risco (RE) e suas respectivas porcentagens de ocupação	94
Tabela 26: Classes de Uso Permissível (CP_p) e suas respectivas áreas de ocupação	97
Tabela 27: Classes de Uso Permissível (CP_p) e suas respectivas porcentagens de ocupação	97
Tabela 28: Estatísticas descritivas relacionados aos dados de fertilidade do solo	100
Tabela 29: Parâmetros geoestatísticos referentes a fertilidade do solo da área de estudo.....	101
Tabela 30: Parâmetros utilizados na interpolação com Machine Learning	102
Tabela 31: Classes de custos em R\$ ha^{-1} de Ureia e suas respectivas áreas	104
Tabela 32: Custos médios de reposição com Ureia em R\$ relacionados as séries temporais.....	104
Tabela 33: Classes de custos em R\$ ha^{-1} de Super Simples e suas respectivas áreas	106
Tabela 34: Custos médios de reposição com Super Simples em R\$ relacionados as séries temporais	106
Tabela 35: Classes de custos em R\$ ha^{-1} de Cloreto de Potássio e suas respectivas áreas	107
Tabela 36: Custos médios de reposição com Cloreto de Potássio em R\$ relacionados as séries temporais	107
Tabela 37: Classes de custos em R\$ ha^{-1} de Calcário e suas respectivas áreas..	108

Tabela 38: Custos médios de reposição com Calcário em R\$ relacionados as séries temporais.....	109
Tabela 39: Custos médios de reposição com Ureia, Super Simples, Cloreto de Potássio e Calcário e suas respectivas séries temporais.....	110
Tabela 40: Avaliação em campo através de registros fotográficos dos processos erosivos encontrados e suas correspondentes classes de Perda de Solo (A)	112
Tabela 41: Base de dados da SEAMA (2023) utilizados na pesquisa, sendo Fator K e Densidade do Solo calculados a partir deles.....	134
Tabela 42: Base de dados da SEAMA (2021) utilizados na pesquisa.....	135

LISTA DE SIGLAS

ATER	Assistência Técnica e Extensão Rural
BDiA	Banco de Dados e Informações Ambientais
CAPES	Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CRNA	Coordenação de Recursos Naturais e Ambientais
Digeo	Diretoria de Informações Geoambientais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
FABDEM	Forest And Buildings removed Copernicus DEM
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGCE	Instituto de Geociências e Ciências Exatas
INEMA	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Potencial Natural à Erosão
Proin	Programa de Apoio à Integração Graduação/Pós-graduação
RE	Risco de Erosão
SEAMA	Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente
SEI	Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USLE	Universal Soil Loss Equation
SIG	Sistema de Informações Geográficas

1. INTRODUÇÃO

As atividades agropecuárias, quando são conduzidas com baixa utilização de critérios técnicos, podem gerar altos passivos ambientais, entre eles a erosão do solo com perdas da capacidade produtiva aliado aos passivos ambientais como a degradação dos recursos hídricos são um dos grandes gargalos da produção agropecuária sustentável. Nas regiões tropicais e subtropicais, a erosão hídrica é a principal causa de degradação do solo, onde apesar da mesma ser um processo natural, o uso intenso e inadequado pelo homem potencializa seus efeitos através do manejo incorreto da terra (EMBRAPA, 2021; ADÃO *et al.*, 2024; LENSE, 2024).

O potencial nocivo da erosão hídrica do solo pode ser visualizado através da redução da produtividade nos sistemas agropecuários aliado ao aumento dos custos produtivos com o maior uso de corretivos, condicionadores e fertilizantes para repor os nutrientes e recuperar as características físicas, químicas e biológicas perdidas devido aos processos erosivos. Segundo Dechen *et al.* (2015) as perdas de fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) causadas pela erosão do solo em áreas de culturas anuais no Brasil geram prejuízos estimados em cerca de US\$ 1,3 bilhão por ano.

A erosão hídrica do solo e os sistemas produtivos estão relacionadas. Enquanto o preparo de solo convencional aumenta as perdas de solo, observa-se que as práticas agrícolas, como a semeadura direta, reduzem estas perdas, além disso, o aumento das classes de declividade do terreno potencializa as perdas de solo (COGO *et al.*, 2003).

Os danos causados pela erosão hídrica do solo podem levar a problemas de ordem ambiental, econômica e social. Dessa forma, estudos científicos que mensurem e definam zonas vulneráveis aos processos erosivos são de suma importância. Nesse sentido, a identificação dos danos causados pela erosão hídrica em larga escala é possível através do uso de ferramentas como o geoprocessamento, onde segundo Lopes *et al.* (2011) o desenvolvimento dos sistemas de informações geográficas (SIGs) facilitou a aplicação de modelos quantitativos como a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS); além de gerar informações espacializadas de erosão laminar do solo relacionando o uso e ocupação do solo. O trabalho de Tolentino *et al.* (2020) corrobora com essa afirmação, onde eles concluíram que o uso do SIG na avaliação das perdas de solo através da EUPS na Bacia do Rio São Lamberto (Minas Gerais) foi eficiente e com rápida aquisição de informações qualitativas.

A utilização eficiente dos recursos naturais de forma sustentável buscando garantir os mesmos para satisfazer as necessidades atuais e futuras justifica pesquisas e ações que venham minimizar os danos ambientais como a erosão hídrica do solo.

Inserida no Território de identidade do Vale do Jiquiriça, entre os biomas de Mata Atlântica e Caatinga, o município de Amargosa apresenta como principais atividades agropecuárias a produção de amêndoas de cacau, de cachos de banana, mandioca, e de leite bovino (IBGE, 2024a).

O município de Amargosa tem como característica a produção agropecuária familiar, visto que o Censo Agropecuário de 2017 mostrou que o número de estabelecimentos rurais é de 2.727 ocupando 39.532 ha. Outro fato interessante é que 2.625 estabelecimentos não recebem assistência técnica com apenas 96 recebendo, além disso, 557 estabelecimentos utilizam cultivo convencional e 190 utilizam cultivo mínimo no preparo de solo (IBGE, 2024a). A predominância do cultivo convencional, como prática de preparo de solo, evidência a tendência de fragilidade dos sistemas produtivos em relação aos processos erosivos dos solos.

Em contexto recente, a agropecuária contribuiu com 34.306,14 (x 1000) R\$ para o PIB Municipal no ano de 2021 (IBGE, 2024a). Especificamente, é o setor sudeste de Amargosa, de declive suave e solos profundos, que concentra maior atividade agropecuária do município, sendo este recorte espacial de interesse neste estudo.

Neste sentido, o presente trabalho, além da função técnica da definição de zonas de riscos a perdas de solo por erosão para as atividades agropecuárias em relação aos efeitos nocivos da erosão e perda de solo, o mesmo busca relacionar esses efeitos com o custo econômico das perdas de nutrientes do solo que afetam a renda, principalmente, dos pequenos produtores rurais e o uso e ocupação do solo; atendendo aos três pilares da sustentabilidade: Social, Econômico e Ambiental. Parte-se da seguinte hipótese:

- Existe relação/coincidência espacial entre uso agrícola intensivo, áreas com fragilidade à erosão e impactos na produção agropecuária por deficiência/perda de nutrientes no solo.

O objetivo geral da presente dissertação foi avaliar os impactos físicos e econômicos da erosão hídrica dos solos na produção agropecuária da região sudeste do município de Amargosa (BA), com a estimativa das perdas de solo pela Equação Universal de Perda de Solos – EUPS e método de custo de reposição.

São objetivos específicos:

- Caracterizar as zonas de risco com processos erosivos e uso e ocupação do solo atual através da comparação entre o atual e o permissível; e,
- Avaliar os impactos dos processos erosivos na agropecuária da região sudeste de Amargosa com foco na perda de fertilidade dos solos, custo e reposição com fertilizantes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A erosão é o processo de remoção e transporte rápido de partículas do solo, podendo ser causada pela ação da água ou do vento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). A água que não infiltra no solo, seja devido à falta de cobertura vegetal (baixa proteção do solo) ou ao encrostamento superficial, é o principal agente da erosão. Nesse contexto, a erosão hídrica se destaca como um dos maiores desafios da agricultura, pois compromete a produtividade do solo, transporta sedimentos, nutrientes e agroquímicos, impactando negativamente a qualidade e a disponibilidade da água (MERTEN *et al.*, 1995; ALVES *et al.*, 2024).

A erosão do solo causada pela água das chuvas é influenciada por diversos fatores, entre eles as características da precipitação, as propriedades do solo, a forma do relevo, a cobertura vegetal e as técnicas de manejo e conservação adotadas (HUDSON, 1977; ZHANG *et al.*, 2025). A erosão provocada pela água é considerada a principal responsável pela degradação dos solos utilizados na agricultura. Esse processo ocorre quando as gotas de chuva atingem o solo, rompendo sua estrutura e desprendendo partículas superficiais ricas em matéria orgânica e nutrientes, denominado efeito *splash*. Esses sedimentos são então transportados para áreas mais baixas da paisagem, como encostas e vales, contribuindo para o assoreamento dos cursos d'água (PISSARRA *et al.*, 2005).

Os processos erosivos provocados pela ação da água podem ser classificados em dois tipos principais, dependendo da forma como ocorre o escoamento das águas superficiais. A erosão laminar ou em lençol acontece quando o escoamento da água da chuva é difuso (TOMINAGA *et al.*, 2015). Ocorre quando a água escoar de maneira uniforme sobre a superfície do solo, removendo partículas sem formar canais definidos. Apesar de ser uma forma menos intensa de erosão, causa grandes prejuízos às áreas agrícolas e contribui significativamente para o acúmulo de sedimentos em rios, lagos e represas (Proin/CAPES e UNESP/IGCE, 1999). Já a erosão linear ocorre quando da concentração do escoamento superficial em fluxos d'água que formam pequenos filetes, gerando cortes no terreno que inicialmente formam sulcos e, com o aprofundamento, podem dar origem às ravinas. Quando a erosão é influenciada não apenas pelas águas superficiais, mas também pelas subsuperficiais, como as do lençol freático, há o desenvolvimento de voçoroca. Esse fenômeno inclui também a ocorrência de *piping* (erosão interna ou tubular) (TOMINAGA *et al.*, 2015; Proin/CAPES

e UNESP/IGCE, 1999.).

Características relacionadas ao solo contribuem para aumentos significativos da erosão, como a presença de horizonte com gradiente textural que reduz a infiltração da água no solo aliado a baixa coesão de partículas com pouca resistência ao desprendimento e transporte (TOY *et al.*, 2002).

Outro fator que influencia as perdas de solo está relacionado a sazonalidade agroclimática, ou seja, a variação dos fatores climáticos ao longo do ano. Nesse sentido, Nachtigall *et al.* (2020) mostram que no sul do Rio Grande do Sul (Brasil) a sazonalidade influencia as perdas de solo com maiores valores durante a primavera e verão, sendo as maiores perdas associadas a chuvas mais erosivas, maior declividade e menor cobertura do solo. Da Silva *et al.*, (2021) observaram na região oeste da Bahia concentração de chuvas erosivas nos meses entre novembro e março. O trabalho realizado por Guimarães (2015) no extremo sul da Bahia mostra que, de modo geral, o período com maior frequência de eventos erosivos ocorre entre outubro e março. Nesse intervalo, a manutenção da cobertura vegetal torna-se fundamental para proteger o solo contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo assim as perdas de solo. Esse conhecimento também auxilia no planejamento das atividades agrícolas, como preparo do solo e colheita, fases em que o solo pode ficar mais exposto aos agentes erosivos.

Segundo Kettenhuber (2021), a erosão é um dos principais agentes de degradação do solo e é amplamente reconhecida como um dos mais graves problemas ambientais em nível global. Este processo resulta de interações complexas entre o clima, as propriedades do solo, as características do relevo, a cobertura vegetal e as práticas de manejo e uso do solo; sendo sua mensuração, relacionada aos custos gerados, associada à redução da capacidade produtiva dos solos.

Bennett (1939) e Singh *et al.*, (2025) classificam a erosão em duas categorias: geológica e acelerada. A erosão geológica, também chamada de natural, ocorre de forma lenta e contínua, representando a evolução gradual da superfície terrestre. Em contraste, a erosão acelerada é um processo rápido, provocado pelas ações humanas. Segundo Correa *et al.* (2022) o uso e a ocupação do solo, aliados aos fatores topográficos e pedológicos, desempenham um papel crucial na perda anual de solo. Observa-se que, em áreas onde a cobertura vegetal natural foi removida, a tendência à perda de solo por erosão hídrica laminar é significativamente maior, devido à desestruturação das características naturais do solo.

A agricultura moderna depende amplamente de manter um equilíbrio adequado

entre as perdas e os ganhos de nutrientes vegetais disponíveis no solo. Os principais processos responsáveis pela remoção desses nutrientes incluem erosão, cultivo, lixiviação e volatilização. Enquanto a colheita retira apenas os nutrientes absorvidos pelas plantas durante o crescimento, as perdas por lixiviação em áreas úmidas são influenciadas pela mobilidade dos nutrientes no solo. Já as perdas por volatilização, embora mais restritas ao nitrogênio e ao enxofre, ainda carecem de dados quantitativos de campo que indiquem sua real magnitude (BARROWS *et al.*, 1963).

Segundo Barrows *et al.* (1963) a remoção de nutrientes por erosão não é seletiva quanto aos tipos de elementos, já que todos os nutrientes, independentemente de sua forma, podem ser levados pelo processo. Contudo, há uma seletividade no sentido de que a matéria orgânica e as partículas mais finas do solo, que são relativamente ricas em nutrientes, são mais suscetíveis à erosão do que as partículas maiores. A perda de nutrientes vegetais, seja em solução ou em suspensão coloidal, pela água que escoar sobre a superfície terrestre, é classificada como parte da química do escoamento.

Nesse sentido, Bloise *et al.* (2001) argumenta que a modelagem matemática dos processos erosivos é uma ferramenta essencial para o gerenciamento de bacias hidrográficas e de áreas agrícolas, contribuindo para a definição de práticas conservacionistas e orientando os manejos mais adequados aos diversos cenários da paisagem.

2.1 Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)

A Equação Universal de Perdas do Solo - EUPS é um modelo empírico que utiliza fatores ambientais e antrópicos para estimar as perdas de solo pela erosão laminar. A EUPS tem ampla aplicação como ferramenta para subsidiar o planejamento ambiental através da abordagem qualitativa com a identificação de áreas potencialmente erosivas (BARBOSA *et al.*, 2015). No estudo do processo erosivo, a EUPS (Universal Soil Loss Equation - USLE) é um modelo amplamente difundido e de boa aplicabilidade, fornecendo parâmetros no planejamento de uso e ocupação do solo (MIQUELONI *et al.*, 2012).

Essa equação foi desenvolvida utilizando dados de milhares de parcelas experimentais de campo, sendo avaliadas nos Estados Unidos. Observa-se que dentre os parâmetros utilizado pela EUPS, o modelo apresenta alta sensibilidade a erosividade da chuva e aos fatores topográficas (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O

modelo EUPS (Equação 1) quantifica a perda de solo por erosão laminar usando fatores para estimar essas perdas, proposto por Wischmeier e Smith (1978).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Sendo: A - Perda de solo calculada, em $t.ha^{-1} ano^{-1}$; R - Fator chuva, em $MJ.mm ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$; K - Fator de erodibilidade do solo em $t.ha.MJ^{-1}.mm^{-1}$; L - Comprimento do declive em m; S - Fator grau de declive em %; C - Fator de uso e manejo (0 – 1); P - Fator de práticas conservacionistas (0 – 1).

Segundo Benavidez *et al.* (2018) as condições experimentais para desenvolvimento da EUPS foram:

- Parcela Unitária de 22,1 m de comprimento x 1,83 m de largura;
- Inclinação de 9 %;
- Delimitação da parcela com chapas metálicas fixadas ao solo;
- Armazenamento do escoamento (água + sedimentos) em tanques.

Observou-se que a EUPS tem melhor precisão em solos com textura média, declividade entre 3 e 18 % e comprimento de rampa de até 122 metros, práticas agrícolas semelhantes as áreas experimentais; sendo que o uso da EUPS fora das situações apresentadas deve ser acompanhada com cuidados em relação aos fatores da equação e aumento da incerteza (BENAVIDEZ *et al.*, 2018).

2.1.1 Erosividade (R)

A erosividade está relacionada ao potencial das chuvas em desagregar as partículas do solo e transportá-las através do escoamento superficial para partes mais rebaixadas topograficamente, onde a capacidade das chuvas em desagregar as partículas é diretamente proporcional ao tamanho das gotas e intensidade das mesmas (SOUSA; PAULA, 2019). A erosividade da chuva e o uso e ocupação do solo são considerados de alta variabilidade anual e espacial devido a variabilidade do clima (LI; FANG, 2016).

A erosividade é um dos parâmetros mais importantes na utilização de modelos de previsão da perda de solo como USLE e RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), sendo um dos que mais interfere na erosão hídrica (GUPTA; KUMAR, 2017).

A caracterização do potencial da chuva em causar erosão é representado pelo índice de erosividade (EI30), sendo o produto entre a energia cinética e a intensidade máxima da chuva (WISCHMEIER; SMITH, 1958). No cálculo do fator R deve ser considerado dados pluviográficos com registros de 10 a 20 anos (WISCHMEIER; SMITH, 1978). As chuvas com potencial erosivo são chamadas de chuvas erosivas, sendo consideradas as chuvas acima de 10 mm ou, pelo menos, 6 mm em 15 minutos, além disso, são consideradas chuvas independentes aquelas com intervalo entre elas igual ou superior a 6 horas consecutivas (com precipitação menor que 1 mm no intervalo entre elas) (WISCHMEIER; SMITH, 1965).

Segundo Silva *et al.* (2022a) a erosividade de cada chuva individual e erosiva pode ser obtida pela seguinte Equação (2):

$$EI30 = ECt \ I30 \quad (2)$$

Sendo: EI30 o índice de erosividade da chuva erosiva individual ($MJ \ mm \ ha^{-1} \ h^{-1}$); ECt é a energia cinética total da chuva ($MJ \ ha^{-1}$); I30 é a intensidade máxima média de precipitação em 30 min ($mm \ h^{-1}$).

A obtenção de dados consistentes para cálculo da erosividade de chuvas individuais requer o uso de pluviógrafos com registros frequentes das precipitações e suas intensidades, porém devido à baixa disponibilidade desses dados métodos de estimação foram desenvolvidos como o proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) que utiliza a precipitação média mensal e precipitação média anual, sendo a Equação (3):

$$R = \sum_{j=1}^n EI_m \quad (3)$$

Sendo: R a erosividade anual da chuva ($MJ.mm \ ano^{-1}.ha^{-1}.h^{-1}$); EI_m é o índice mensal de erosividade ($MJ.mm \ ano^{-1}.ha^{-1}.h^{-1}$).

O cálculo do EI_m é obtido com a Equação (4):

$$EI_m = 68,730 (p^2/P)^{0,841} \quad (4)$$

Sendo: Elm = Índice mensal de erosividade ($MJ.mm\ ano^{-1}.ha^{-1}.h^{-1}$); p = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm).

Segundo Bolleli *et al.* (2023) esses procedimentos já foram realizados em vários locais do Brasil e em vários estudos com o objetivo de obter o valor R e caracterizar a erosividade e sua distribuição espacial.

Silva *et al.* (2022b) utilizou a faixas de erosividade representada na Tabela 01 para classificar a erosividade mensal e anual.

Tabela 01. Classes de Erosividade mensal e anual		
Classes de Erosividade	Erosividade ($MJ.mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$)	
	Mensal	Anual
Muito Baixa	$R < 250$	$R < 2.500$
Baixa	$250 < R < 500$	$2.500 < R < 5.000$
Média	$500 < R < 700$	$5.000 < R < 7.000$
Alta	$700 < R < 1.000$	$7.000 < R < 10.000$
Muito Alta	$R > 1.000$	$R > 10.000$

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2022b).

2.1.2 Erodibilidade (K)

O fator K (erodibilidade) indica a suscetibilidade intrínseca do solo à erosão, sendo influenciado por suas características físicas, químicas e mineralógicas (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Conforme Bertol *et al.*, (2019), determinar esse fator diretamente no campo é um procedimento dispendioso, requerendo ao menos 22 anos de coleta de dados em uma parcela experimental sob chuva natural.

O fator de erodibilidade do solo K também pode ser calculado de forma indireta, empregando equações que relacionam a erodibilidade a diferentes propriedades do solo (BACK, 2023). Segundo o mesmo autor diversos métodos indiretos foram desenvolvidos para estimar o fator K com base nas propriedades físicas e químicas do solo, incluindo o teor de matéria orgânica, a textura, além de dados relacionados à estrutura e à permeabilidade do solo.

Na avaliação da erodibilidade do solo por métodos diretos e indiretos dos solos próximos a Usina de Tucuruí, Silva *et al.* (2021) utilizaram diversas fórmulas com os respectivos autores para estimar a erodibilidade, além do cálculo direto com uso do equipamento de Inderbitzen, nesse estudo eles utilizaram equações como:

- Lombardi Neto e Bertoni (1975) modificada por Lima *et al.*, (1990):

$$K = (\% \text{silte} + \text{argila dispersos em água}) / (\% \text{silte} + \text{argila totais}) / ((\% \text{argila total}) / (\% \text{umidade equivalente})) \quad (5)$$

- Wischmeier *et al.* (1971) método 2:

$$K = \{ [2,1 (10^{-4}) (12-MO) M 1,14 + 3,25 (EST-2) + 2,5 (PER-3)] / 100 \} 0,1317 \quad (6)$$

Sendo:

K = valor estimado para o fator K, em $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$;

M = soma dos teores de silte (%) e areia muito fina (%) multiplicada por 100 menos o teor de argila (%);

MO = teor de matéria orgânica (%);

EST e PER = códigos, adimensionais, correspondentes à estrutura e permeabilidade do solo, respectivamente, conforme descrição em Wischmeier *et al.* (1971).

- Denardin (1990) método 2:

$$K = 0,00000748(M) + 0,00448059(PER) - 0,06311750(DMP) + 0,010396(REL) \quad (7)$$

Sendo:

M = soma dos teores de silte (%) e areia muito fina (%) multiplicada por 100 menos o teor de argila (%);

PER = código adimensional referente a permeabilidade do solo, conforme descrição em Wischmeier *et al.* (1971);

DMP = diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2 mm;

REL = produto do teor de matéria orgânica (%) pela percentagem de partículas de diâmetro entre 0,1 e 2 mm.

Os autores utilizaram outros métodos além dos descritos acima, porém, segundo eles, o método de Wischmeier *et al.* (1971) método 2 e Lima *et al.*, (1990)

(variação de Wischmeier *et al.*, (1971) método 2) apresentaram mais proximidade com os valores obtidos pelo uso do método direto (equipamento de Inderbitzen).

O trabalho de Back (2023) cita a equação de Bouyoucos (1935) como um método simplificado para obter a erodibilidade (Equação 8):

$$K = \frac{\%L + \%S}{\%C} * \frac{1}{100} \quad (8)$$

Sendo:

K = Erodibilidade (Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹);

%L = percentual de silte;

%S = percentual de areia;

%C = percentual de argila.

A classificação dos graus de erodibilidade do solo é dada pela Tabela 02, baseada nos critérios de Freires *et al.* (2023).

Tabela 02. Classes de Erodibilidade do solo

Classes de Erodibilidade	Faixas de K (t.ha.h (ha.MJ.mm⁻¹))
Muito Baixa	< 0,01
Baixa	0,01 - 0,02
Moderada	0,02 - 0,04
Alta	0,04 - 0,06
Muito Alta	> 0,06

Fonte: Adaptado de Freires *et al.* (2023).

A obtenção do valor da erodibilidade é um processo custoso, onde muitos trabalhos utilizam valores determinados na literatura para diferentes tipos de solos, sendo uma limitação da utilização dessa metodologia na obtenção do potencial erosivo. Nesse sentido, observa-se que Borges (2009) utilizou valores obtidos na literatura para Cambissolos (0,0600 t h Mj⁻¹ mm⁻¹), Latossolo Amarelo (0,0280 t h Mj⁻¹ mm⁻¹), Latossolo Vermelho-Amarelo (0,0200 t h Mj⁻¹ mm⁻¹) e Argissolo Vermelho-Amarelo (0,0293 t h Mj⁻¹ mm⁻¹), analisando a susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha entre Bahia e Minas Gerais. Francisco *et al.* (2024) estimaram e classificaram a erodibilidade dos solos do estado da Paraíba e encontraram valores de 0,0197 (0,0200 t h Mj⁻¹ mm⁻¹) para Argissolo Amarelo e 0,0378 (0,0200 t h Mj⁻¹ mm⁻¹) para Planossolos Hápicos.

2.1.3 Fator Topográfico (LS)

O fator LS está relacionado com as características topográficas do local como declividade (S) e comprimento de rampa (L). Este fator representa a relação entre a perda de solo na rampa analisada sob condições padrão (L=22,1 m e S=9%) e as condições específicas da área estudada (BACK, 2023). De acordo com Beskow *et al.*, (2009), a intensidade da erosão hídrica é significativamente influenciada pelo comprimento do declive (fator L) e pela inclinação do terreno (fator S). A Tabela 03 apresenta as classes do Fator Topográfico do solo.

Tabela 03. Classes do Fator Topográfico do solo

Classes de LS	Faixas de LS
Muito Baixa	< 1
Baixa	1 - 2
Moderada	2 - 5
Alta	5 - 10
Muito Alta	> 10

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2010).

Para a obtenção do fator LS existem algumas metodologias já consolidadas. Segundo Coutinho *et al.* (2014), por meio de procedimentos manuais e dados coletados em campo, o fator LS é calculado, em sua forma mais clássica, utilizando a Equação 9.

$$LS = \left(\frac{\sqrt{X}}{100} \right) * (1,36 + 0,97D + 0,1385D^2) \quad (9)$$

Sendo:

LS: fator topográfico;

X: comprimento da vertente (m);

D: declividade do terreno (%).

Outra metodologia utilizada para calcular o fator LS é descrita por Bertoni e Lombardi Neto (2005) conforme a Equação 10:

$$LS = 0,00984 * \lambda^{0,63} * D^{1,18} \quad (10)$$

Sendo:

LS = fator topográfico;

λ = comprimento de rampa;

D = declividade do terreno (%).

Porém, o cálculo manual do comprimento de rampa se tornou ineficiente devido à sua complexidade, exigindo outros métodos (BORGES, 2009). Oliveira *et al.* (2023) utilizaram ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para calcular o fator LS com uso de algoritmos e modelo digital de elevação (MDE) utilizando a seguinte equação (11):

$$LS = \left(FA \left(\frac{cs}{22,13} \right) \right)^{0,4} * \left(\frac{\text{sen}(S)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (11)$$

Sendo:

LS = fator topográfico;

FA = acúmulo de fluxo ou área de contribuição;

CS = tamanho da célula do modelo digital de elevação, correspondente a 30 metros de resolução espacial da imagem de acúmulo de fluxo;

S = declividade em radianos calculada para cada pixel.

A metodologia descrita acima foi utilizada em diversos estudos que analisaram o potencial erosivo hídrico (ESA *et al.*, 2018; BABU; THAKURIAH *et al.*, 2023; NARAYANAN, 2025; GEZICI *et al.*, 2025). Nesse sentido, o fator topográfico (LS) pode ser obtido a partir do modelo digital de elevação, considerando a declividade do terreno e o fluxo acumulado derivado da direção de drenagem, método amplamente utilizado em estudos de modelagem da erosão do solo.

2.1.4 Fator Uso da Terra e Práticas Conservacionistas (CP)

A descrição dos fatores pode ser observada de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008), onde o fator de uso e manejo do solo (Fator C) está relacionado à suscetibilidade do solo à erosão em função de seu uso, desuso e manejo. Segundo Xiong *et al.* (2023) fator C expressa o efeito da cobertura e do manejo do solo na

erosão, mas sua determinação exige dados de campo difíceis de obter em grandes áreas. Por isso, existem diferentes métodos de estimativa, que variam conforme a escala de análise. Ainda falta padronização e orientação sobre qual método usar, o que torna necessária a comparação entre eles para melhor escolha. O fator de Práticas Conservacionistas (Fator P) está associado à mitigação ou eliminação da perda de solos por meio da implementação de práticas conservacionistas, como o terraceamento e o plantio em nível, entre outras técnicas. No entanto, Stein *et al.* (1987) estabelece que esses fatores só precisam ser analisados de forma individual quando o objetivo é determinar a forma mais adequada de produção agrícola, caso o propósito seja estimar a perda de solo por erosão, essas variáveis podem ser consideradas de forma integrada.

Nesse sentido, Pereira *et al.* (2021) utilizaram imagens de satélite para obter o fator CP através do uso da classificação supervisionada com o Landsat 8 e o sensor Operational Land Imager (OLI). Foram utilizadas as bandas 6, 5 e 4 representando os canais Vermelho, Verde e Azul (RGB), referentes ao mês de agosto de 2019. Esse período, caracterizado pelo inverno, apresenta menor interferência na assinatura espectral dos alvos devido à baixa incidência de umidade pluviométrica e nuvens.

Correa *et al.* (2022) determinam o CP da área de estudo com o auxílio do *plugin Semi-automatic Classification plugin (SCP)* através do *software QGIS v. 2.18.13*, eles utilizaram imagens de satélite Landsat com as bandas 5,4 e 3 para os canais R, G e B respectivamente, criando as classes de uso: Florestas e áreas seminaturais, Solo Exposto, Áreas agrícolas, Áreas úmidas e corpos hídricos e por fim Áreas artificiais. Os autores utilizaram amostras de treinamento para realizar a classificação supervisionada, e para cada classe atribuíram os seguintes valores - Tabela 04:

Tabela 04. Classes de Uso e Ocupação da Terra (CP)

Classes de uso e ocupação da terra	Fator CP
Florestas e áreas seminaturais	0,0007
Solo Exposto	1,0000
Áreas agrícolas	0,2500
Áreas úmidas e corpos hídricos	0,0000
Áreas artificiais	0,0000

Fonte: Adaptado de Correa *et al.* (2022).

No entanto, Cechim Junior *et al.* (2023) realizando a classificação supervisionada na região fitogeográfica Savana, localizada no estado do Paraná, descreve que Imagens obtidas durante a entressafra tendem a favorecer o processo de classificação, uma vez que a presença de áreas com solo exposto ou culturas com

baixo desenvolvimento vegetativo possibilita distinguir com mais clareza esses alvos em relação a outros, como pastagens, formações florestais e áreas de reflorestamento. Nesse sentido, observamos que a classificação tem relação com o vigor vegetativo, onde a uma determinada área pode apresentar diferentes classes de uso de acordo com variação do vigor vegetativo.

2.1.5 Perdas de Solo (A), Potencial Natural de Erosão (PNE), Risco de Erosão (RE) e Uso e Manejo Permissível (CP_p)

A estimativa das perdas de solo é obtida pela multiplicação dos fatores da EUPS, sendo R, K, L, S, C e P através da Equação 1.

Segundo Oliveira *et al.* (2007) o Potencial Natural de Erosão (PNE) é determinado pela integração dos dados dos fatores da EUPS, que englobam elementos do meio físico, levando em conta a erosividade das chuvas, a erodibilidade do solo e o fator topográfico, sendo (Equação 12):

$$PNE = R \times K \times L \times S \quad (12)$$

Onde: PNE - Perda de solo calculada, em t.ha⁻¹ ano⁻¹; R - Fator chuva, em MJ.mm ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹; K - Fator de erodibilidade do solo em t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹; L - Comprimento do declive em m; S - Fator grau de declive em %.

Oliveira *et al.* (2011a) calcularam a relação entre a perda de solo e os valores de tolerância para essa perda em cada tipo de solo, denominada risco de erosão (RE) (Equação 13):

$$RE = A \text{ At}^{-1} \quad (13)$$

Sendo: A = Perda de solo t.ha⁻¹ ano⁻¹; At = Perda de solo tolerável t.ha⁻¹ ano⁻¹

Considerando o Fator P (práticas conservacionistas) igual a 1 e definindo a perda de solo como sendo igual a perda máxima tolerável é possível ajustar a equação 14 para o obter o uso e manejo permissível (CP_p) (OLIVEIRA *et al.*, 2011a).

$$CP_p = At (R K L S)^{-1} \quad (14)$$

Sendo: CP_p = uso e manejo permissível; At = Perda de solo tolerável t.ha⁻¹ ano⁻¹; R - Fator chuva, em MJ.mm ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹; K - Fator de erodibilidade do solo em t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹; L - Comprimento do declive em m; S - Fator grau de declive em %.

As classificações das perdas de solo (A), Potencial Natural de Erosão (PNE) e o Risco de Erosão (RE) podem ser vistas na Tabela 05.

Tabela 05. Classificação Anual da Perda de solo (A), Potencial Natural de Erosão (PNE) e Risco de Erosão (RE)

Classes	Perda de Solo (A)	Potencial Natural de Erosão (PNE)	Risco de Erosão (RE)
	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹		adimensional
Muito Baixa	< 10	< 250	< 1
Baixa	10-20	250-500	1-2
Moderada	20-50	500-750	2-5
Alta	50-100	750-1000	5-10
Muito Alta	>100	> 1000	> 10

Fonte: Adaptado de Miqueloni *et al.* (2015).

O valor de CPp é analisado comparando o uso permissível encontrado com o valor de uso atual, sendo esses valores tabelados como na Tabela 04.

2.2 Erosão e Perda de Fertilidade

Os processos erosivos levam a perda da capacidade produtiva do solo, sendo sua estimativa e a definição de zonas de risco uma ferramenta de suma importância no planejamento de uso e ocupação do solo. Nesse sentido, vastas áreas podem perder a viabilidade econômica, tornando-se improdutivas (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2012). Esse planejamento pode levar a redução de custos nas atividades agropecuárias através da redução dos processos erosivos e seus efeitos nocivos. No trabalho de Bertol *et al.* (2017) pode-se observar o efeito das práticas agrícolas no controle da erosão hídrica do solo e sua capacidade de aumentar ou reduzir os custos produtivos através da relação entre a erosão e perda de nutrientes do solo, eles verificaram redução dos custos de nutrientes perdidos pela erosão, na forma de fertilizantes, comparando sistemas produtivos diferentes, onde em relação a ureia e calcário a eficiência do sistema de plantio direto em relação ao preparo convencional foi de 65 e 50 %, respectivamente, em relação a redução dos custos com fertilizantes; apesar do sistema convencional ser mais eficiente em relação ao superfosfato triplo sendo a possível causa a maior perda de fósforo via água (dissolvido na solução), as diferenças em relação ao cloreto de potássio não foram significativas. Nas áreas analisadas por Erkossa *et al.* (2015), observou-se que a perda de nitrogênio e fósforo, transportados junto aos sedimentos e ao escoamento superficial, resultou em impactos expressivos, refletindo diretamente na redução da produtividade e na diminuição da renda dos agricultores.

Além desses danos, Marques (1998) mostra que a erosão do solo afeta a microfauna e microflora do mesmo, reduz o potencial produtivo e sua capacidade de armazenamento de água. Nesse mesmo estudo, foram estimados os custos internos (Equação 15) utilizando as perdas de solo por cultura e sua relação com as perdas de nutrientes via erosão.

$$\text{Custos internos} = Q_n (P_n + C_a) + (P_p * Q_p) \quad (15)$$

Sendo:

Q_n = fertilizantes carregados pela erosão;

P_n = preço dos fertilizantes;

C_a = custo de aplicação;

P_p = preço do produto agrícola;

Q_p = redução da produtividade de longo prazo em razão da erosão.

Por sua vez, a erosão hídrica do solo também influencia a dinâmica ambiental através das interações entre os sistemas agropecuários e recursos naturais, dentre essas, a eutrofização dos corpos hídricos potencializada pelo excesso de nutrientes transportados nos sedimentos erodidos para os mananciais. A presença de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, com valores acima dos naturais tem associação com a eutrofização dos corpos d'água (YOO *et al.*, 1995). Além desses nutrientes, McGregor *et al.* (1996) mostram que as perdas de matéria orgânica por erosão desempenham importante papel nos processos de eutrofização dos corpos hídricos devido a elevada demanda bioquímica de oxigênio necessária para decomposição dos compostos orgânicos; colocando em risco a vida aquática. Hernani *et al.* (1999) observaram que as perdas de nutrientes por erosão hídrica são diferentes no sedimento e na solução coletados da enxurrada, onde estas perdas são altamente influenciadas pelo manejo do solo; sendo as maiores perdas totais (sedimento + solução) de nutrientes seguindo esta sequência: $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{P}$. Corroborando com esse estudo, Walton *et al.* (2000) mostram que as perdas de nutrientes podem ocorrer junto com o fluxo ou adsorvidos ao sedimento transportado pela enxurrada.

Dechen *et al.* (2015) avaliaram os custos relacionados a erosão do solo, onde para calcular os custos das perdas de nutrientes, as quantidades de P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} presentes na água da enxurrada e no solo transportado pela erosão foram somadas e

convertidas em equivalentes de fertilizantes comerciais. O fósforo (P) foi representado como superfosfato triplo (P_2O_5 , 42%), o potássio (K^+) como cloreto de potássio (KCl, 60%) e o cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) como calcário dolomítico [$CaMg(CO_3)_2$, 38%]. Os mesmos autores mostram que os resultados do experimento apontam que as perdas de P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} causadas pela erosão do solo em lavouras anuais no Brasil resultam em um custo estimado de aproximadamente US\$ 1,3 bilhão por ano; onde um maior percentual de cobertura do solo levou a uma redução nos custos relacionados às perdas de água, solo e nutrientes causadas pela erosão. A Tabela 06 mostra as perdas desses nutrientes (entre 1987 e 1996) na água de enxurrada, no solo e o total.

Tabela 06. Perdas de nutrientes em função da porcentagem de cobertura do solo

Cobertura (%)	Perdas (Kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				
	Níveis	Fósforo (P)	Potássio (K ⁺)	Cálcio (Ca ²⁺)	Magnésio (Mg ²⁺)
Na água da Enxurrada					
0	1,07	2,90	9,46	1,93	
24	0,73	1,87	1,67	1,26	
40	0,37	0,76	1,53	0,49	
90	0,17	0,41	0,76	0,20	
Na terra carregada pela erosão					
0	0,77	0,98	12,99	3,81	
24	0,75	0,81	11,56	3,71	
40	0,63	0,70	10,77	3,31	
90	0,38	0,42	5,50	1,64	
Total					
0	1,84	3,88	22,45	5,74	
24	1,48	2,68	13,23	4,97	
40	1,00	1,46	12,30	3,80	
90	0,55	0,83	6,26	1,84	

Fonte: Adaptado de Dechen *et al.* (2015).

2.3 Interpolação de dados: Krigagem Ordinária, Machine Learning e IDW

A Geoestatística tem como objetivo descrever e analisar a distribuição espacial de uma variável de interesse, avaliando sua variabilidade no espaço e quantificando as incertezas associadas. O fenômeno espacial é composto por todos os valores possíveis de uma variável de interesse, que determinam sua distribuição e variabilidade espaciais em um determinado domínio, seja em 2D ou 3D. Em termos estatísticos, representa a população, ou seja, o conjunto completo de valores do qual uma amostra pode ser extraída (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

O objetivo da geoestatística na agricultura de precisão é caracterizar a magnitude da variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas, além de estimar esses atributos com base no princípio da variabilidade espacial. Isso possibilita identificar inter-relações espaciais e temporais entre os atributos, além de auxiliar no desenvolvimento de padrões adequados de amostragem (FERRAZ *et al.*, 2012).

Na análise geoestatística, uma etapa fundamental é o ajuste do modelo teórico de semivariograma, determinando os valores dos parâmetros que o compõem, como efeito pepita, contribuição e alcance (JOHANN *et al.*, 2004; MONTEBELLER *et al.*, 2007; CAMPOS *et al.*, 2008; FERRAZ *et al.*, 2012; SILVA NETO *et al.*, 2020).

Silva Neto *et al.* (2020) apontam que as técnicas geoestatísticas superam a estatística clássica ao controlar parte do erro aleatório causado pela influência mútua entre as amostras, conhecida como dependência espacial. Contudo, a aplicação dessas técnicas pode ser limitada pela quantidade reduzida de estações na área da bacia e em seu entorno, o que dificulta a análise da dependência espacial. Segundo Mello (2002) o variograma pode ser estimado pela Equação 16:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (16)$$

Sendo: $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância estimada; $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$ separados por um vetor h .

A Figura 01 mostra o gráfico do semivariograma.

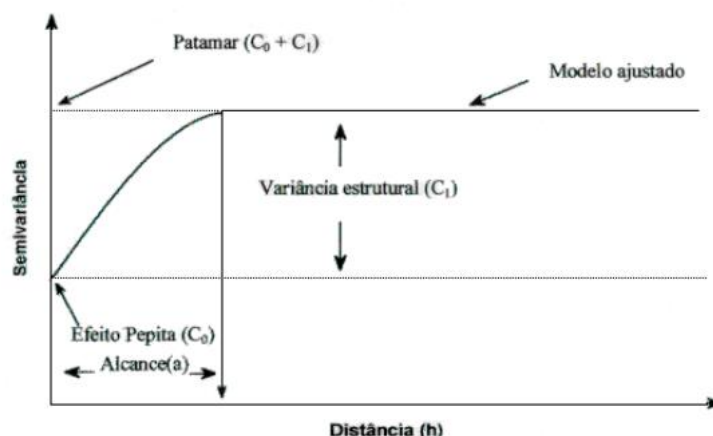


Figura 01. Gráfico representando o semivariograma.

Fonte: Mello (2002).

Os parâmetros do semivariograma são descritos como (MELLO, 2002):

Alcance (a): é a distância na qual as amostras ainda estão correlacionadas espacialmente. Esse valor é determinado pelo ponto em que a semivariância estimada atinge o patamar, deixando de apresentar incrementos significativos. O alcance representa a extensão da dependência espacial ou o raio de influência dos pontos amostrados sobre sua vizinhança.

Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente ao alcance (a). A partir desse ponto, presume-se que não há mais dependência espacial entre as amostras, pois a variância da diferença entre pares de amostras $\text{Var} [Z(x)-Z(x+h)]$ torna-se constante, independentemente da distância.

Efeito Pepita (C_0): Idealmente, espera-se que $\hat{\gamma}(h)=0$. Contudo, na prática, à medida que h se aproxima de 0, $\hat{\gamma}(h)$ converge para um valor positivo conhecido como Efeito Pepita (C_0). Esse valor reflete a descontinuidade do semivariograma em distâncias menores do que a menor separação entre as amostras. Segundo Yamamoto e Landim (2013) o efeito pepita pode ser atribuído tanto à variabilidade inerente do fenômeno espacial em análise quanto à escala utilizada na amostragem.

Contribuição (C_1): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0).

Segundo Yamamoto e Landim (2013) os três modelos abaixo (Tabela 07) são responsáveis por explicar a maior parte dos fenômenos espaciais.

Tabela 07. Modelos teóricos de variogramas com patamar	
Modelo	Equação
Esférico	$\begin{cases} \hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & \text{para } h < a \\ \hat{\gamma}(h) = C_0 + C & \text{para } h \geq a \end{cases}$
Exponencial	$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left(-\frac{h}{a} \right) \right]$
Gaussiano	$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left(-\left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right]$

Fonte: Adaptado de Olea (1999, p. 76-79).

Sendo: Semivariância $\hat{\gamma}(h)$; Efeito Pepita (C_0); Patamar (C); Alcance (a); Distância (h).

A krigagem é um método geoestatístico utilizado para estimar valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou no tempo, com base em dados adjacentes considerados interdependentes por meio da análise variográfica. Embora possa ser comparada a métodos tradicionais de estimativa, como médias ponderadas ou móveis, sua principal diferença está no fato de garantir estimativas não tendenciosas e com a

menor variância associada ao valor estimado (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Na krigagem ordinária, as variações locais da média são consideradas, restringindo o domínio de sua estacionaridade à vizinhança do ponto em análise. Nesse caso, a média é assumida como constante, mas desconhecida (LANDIM, 2004). A krigagem ordinária é amplamente utilizada em comparação à krigagem simples, pois não requer o conhecimento prévio da média na área de estudo. Dessa forma, presume-se que a krigagem ordinária forneça resultados mais confiáveis (ANDRIOTTI, 1988).

Compreender a dependência espacial de forma detalhada é crucial para analisar tanto a magnitude da continuidade espacial de um atributo quanto o padrão de sua variação em estudos que envolvem variabilidade espacial (SEIDEL *et al.*, 2014). O índice estabelecido por Cambardella *et al.* (1994) pode ser visualizado na Equação 17:

$$NE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) * 100 \% \quad (17)$$

Sendo: NE é a dependência espacial (relative nugget effect); C_0 é o efeito pepita; C_1 é a contribuição.

Observa-se que trabalhando com Erosividade no Estado do Rio de Janeiro, Montebeller *et al.* (2007) mostraram que os semivariogramas gerados a partir dos conjuntos com 93 valores de índices de erosividade mostraram-se eficazes para modelar a dependência espacial, diferentemente dos conjuntos com 36 valores, que não exibiram tal dependência. Almeida *et al.* (2017) afirmaram que os modelos (spherical - estação seca e Gaussian - estação chuvosa) utilizados possibilitam calcular a erosividade em escalas anual e mensal, além de representar sua distribuição espacial na região semiárida brasileira.

O *machine learning* (ML), ou aprendizado de máquina, é outra forma de interpolação que usa covariáveis que ajudam a descrever o fenômeno estudado através da relação entre elas e a variável analisada. O uso de técnicas ML tem se destacado na previsão de fenômenos com comportamento não linear. O processo começa a partir do fornecimento de um conjunto de dados para treinamento, no qual o algoritmo identifica padrões que servirão de base para estimar valores futuros; Grande parte dos problemas ambientais envolve relações não lineares entre variáveis dependentes e independentes, muitas vezes influenciadas por ruídos. Por esse motivo, observa-se um crescimento no uso de modelos de aprendizado de máquina, aplicados

em diferentes campos do conhecimento (MARTIM *et al.*, 2025). O *Support Vector Machine* (SVM) é uma técnica de aprendizado de máquina criada nos anos 1990, amplamente aplicada em tarefas de classificação e regressão de dados, sendo capaz de processar tanto conjuntos reduzidos quanto grandes volumes de dados (PEREIRA *et al.*, 2022). No algoritmo SVM, busca-se identificar o hiperplano que promove a melhor separação entre as classes. Os pontos mais próximos a esse limite são chamados de vetores de suporte. Esse hiperplano pode assumir a forma de uma linha ou de um plano, dependendo do problema, e sua função é distinguir corretamente as classes. Para isso, o modelo utiliza diferentes funções de kernel, sendo a Função de Base Radial (RBF) a mais empregada, devido à sua simplicidade de implementação, eficiência e adequação a problemas de alta dimensionalidade, com grande número de variáveis de entrada (MARTIM *et al.*, 2025). Pereira *et al.* (2022) utilizaram o SVM como algoritmo na criação do *plugin Smart-Map* para aplicação no *software* QGIS.

O método de *Inverse distance weighting* (IDW) parte do princípio de que pontos próximos apresentam maior semelhança do que aqueles mais distantes. Assim, para estimar valores em locais sem observações diretas, o IDW utiliza os dados vizinhos, atribuindo-lhes maior peso em comparação aos mais afastados. Dessa forma, cada amostra exerce influência na estimativa, a qual diminui conforme aumenta a distância (Equação 18) (PESSANHA *et al.*, 2021).

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (18)$$

Sendo, $\hat{Z}(s_0)$ é o valor a ser previsto para a localização s_0 ; N é o número de pontos observados a serem usados em torno do valor a ser previsto; λ_i são os pesos para cada ponto amostrado, e $Z(s_i)$ é o valor observado na localização s_i .

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área

O município de Amargosa está localizado no Território Identidade Vale do Jiquiriça (Figura 02) e fica a 235 Km de distância da Capital Salvador – Bahia.

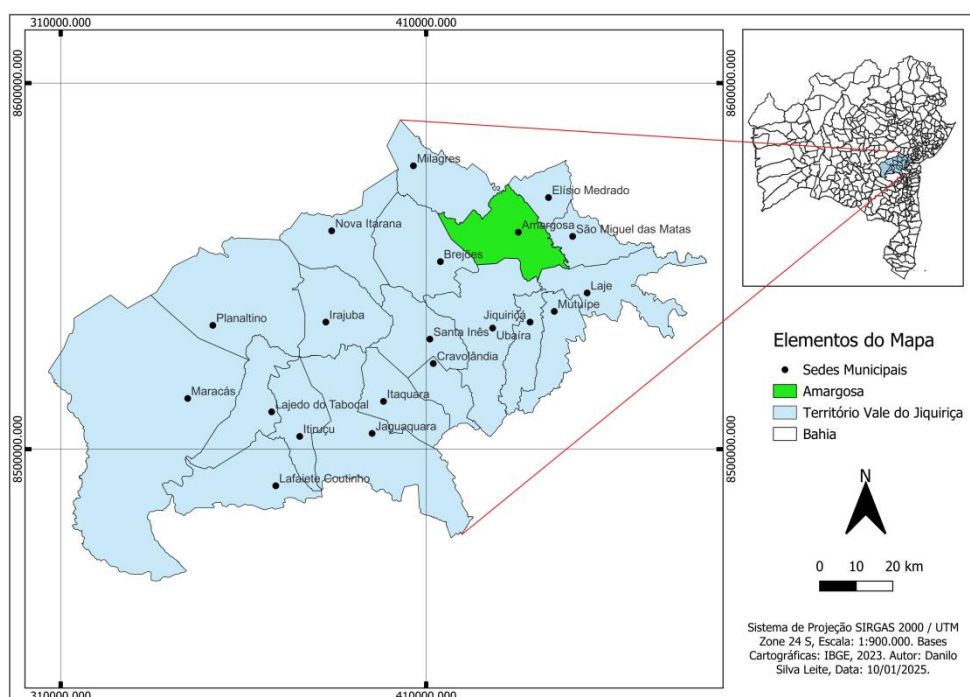


Figura 02. Localização do Município de Amargosa.

Fonte: Organizado pelo autor.

Segundo IBGE (2024b) a população do município era de 36.521 habitantes, em 2022, com área territorial de 431,655 km². O PIB (Produto Interno Bruto) foi de R\$ 463.880,51 (x 1000) em 2021, PIB Agropecuária foi de R\$ 34.306,14 (x 1000) (Figura 03), área dos estabelecimentos rurais 39.532 hectares, número de estabelecimentos rurais 2.727.

As principais cadeias produtivas do município são cacau, banana, mandioca e pecuária bovina (Figuras 04, 05, 06 e 07) (IBGE, 2024a).

Valor adicionado bruto a preços correntes / Série revisada / Atividade econômica / **Agropecuária** (Unidade: R\$ x1000)

R\$ x1000

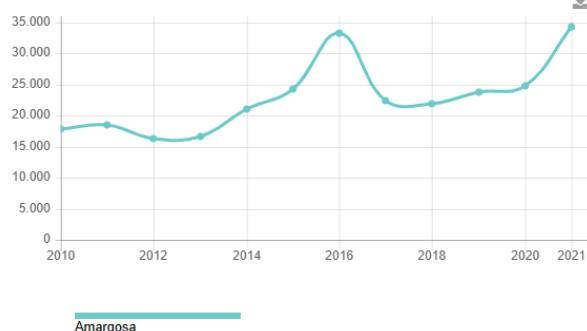


Figura 03. Evolução do PIB da Agropecuária.
Fonte: IBGE, 2024a.

Cacau / Amêndoa / **Quantidade produzida** (Unidade: t)

t

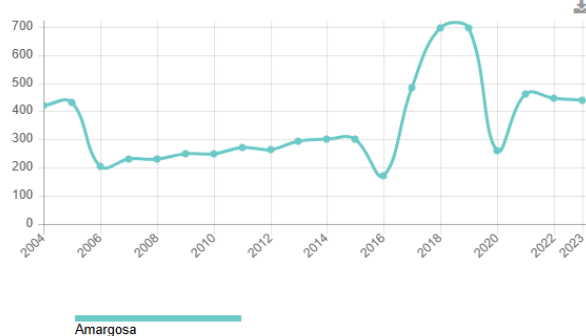


Figura 04. Evolução da Produção de Cacau.
Fonte: IBGE, 2024a.

Banana / Cacho / **Quantidade produzida** (Unidade: t)

t



Figura 05. Evolução da Produção de Banana.
Fonte: IBGE, 2024a.

Mandioca / **Quantidade produzida** (Unidade: t)

t

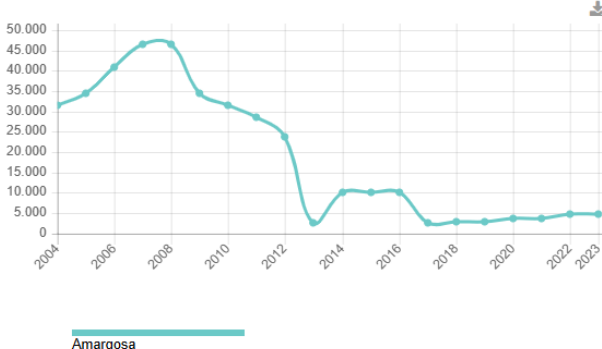


Figura 06. Evolução da Produção de Mandioca.
Fonte: IBGE, 2024a.

Bovino / **Efetivo do rebanho** (Unidade: cabeças)

cabeças



Figura 07. Evolução da Pecuária Bovina.
Fonte: IBGE, 2024a.

. A cadeia produtiva do cacau mostra tendência de estabilização (Figura 04), em relação a produção de banana, observa-se tendência de estabilização nos últimos anos (Figura 05). A atividade de produção de mandioca mostra tendência de estabilização nos últimos anos, já a pecuária bovina apresenta leve tendência de alta (Figura 06 e 07). No entanto, em escala de tempo maior (9 anos) pode-se verificar forte

redução na produção de banana e mandioca (Figura 05 e 06) como provável efeito do aumento nas áreas cultivadas com cacau e pastagem, além disso, a manutenção de áreas com baixa produtividade; apesar da acentuada elevação do PIB nos últimos 11 anos.

A área de estudo representando a região sudeste do município de Amargosa pode ser visualizada na Figura 08.

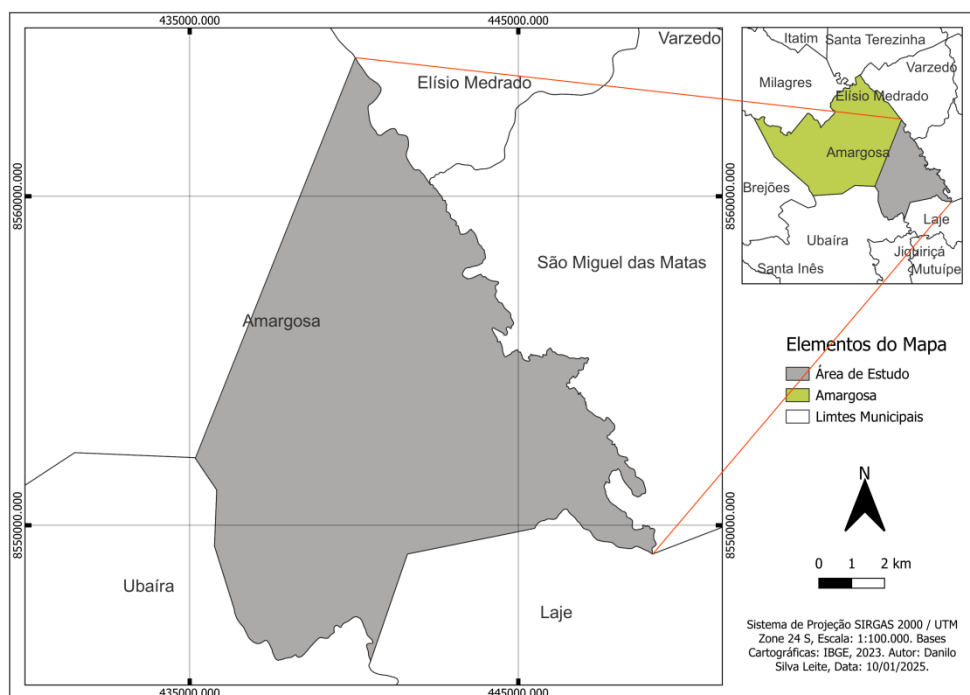


Figura 08. Localização da área de estudo.

Fonte: Organizado pelo autor.

3.1.1. Clima

Mendonça (2007) destaca que, ao analisar as características atmosféricas relacionadas ao Brasil, especialmente as condições estáticas e dinâmicas específicas do território nacional, é possível identificar cinco grandes compartimentos climáticos no país. Essa classificação baseia-se, sobretudo, na distribuição da temperatura e da precipitação observadas em âmbito nacional, considerando ainda as particularidades geográficas e a influência das massas de ar.

Segundo SEI (2023) a Tipologia climática (Thonhwaite & Matther) do município de Amargosa é C1dA - Sub-úmido seco - Megatérmico, Evapotranspiração Potencial (ETP) ≥ 1140 mm; Tipologia climática (Koppen - Geiger): A - Tropical; Índice hídrico: -21,9; Índice de Aridez: 39,6; Índice de Umidade: 1,9. A Figura 09 mostra a distribuição da precipitação e temperatura ao longo do ano.

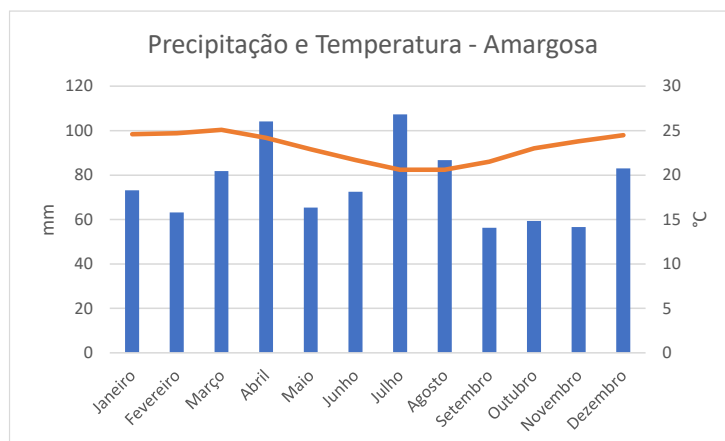


Figura 09. Precipitação e temperatura média ao longo do ano
Fonte: Adaptado de SEI (2023).

Na Figura 10, observa-se que o município de Amargosa apresenta dois tipos de domínios climáticos sendo o Clima Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental e o Clima Tropical Úmido-Seco ou Tropical do Brasil Central; esses climas apresentam variações na amplitude dos meses secos (6, 4 a 5 e 3) e, conseqüentemente, umidade (semi-árido, semi-úmido e úmido).

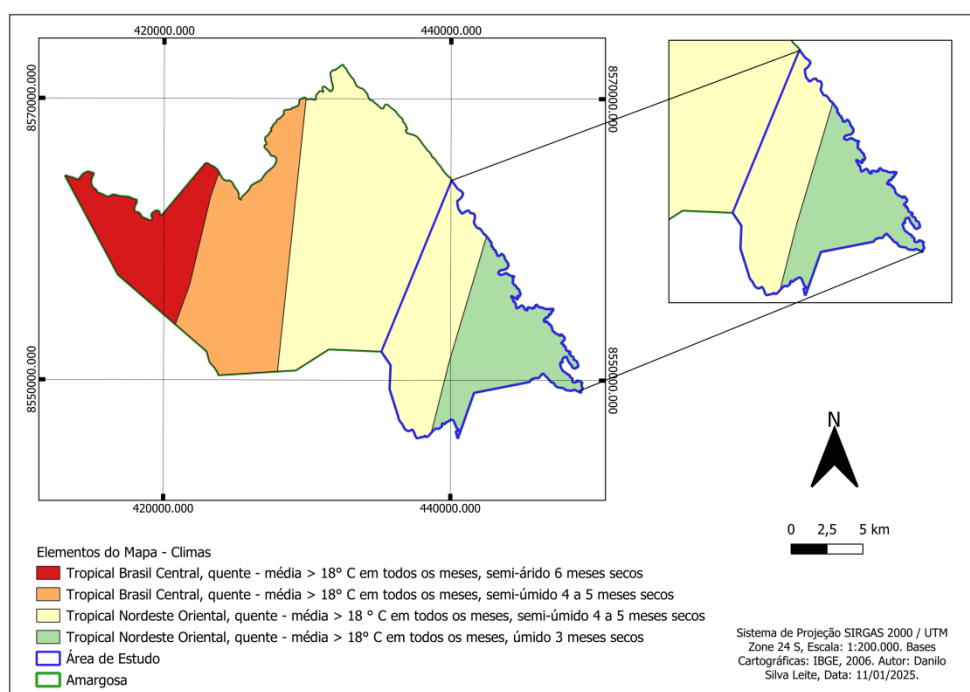


Figura 10. Climas encontrados no município de Amargosa.
Fonte: Organizado pelo autor.

Clima Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental - Uma região de terras que se prolonga do litoral atlântico (oriental) no Nordeste para o interior, alcançando algumas centenas de quilômetros, é intensamente impactada pelas massas de ar úmidas

oriundas do oceano Atlântico (Massa Equatorial do Atlântico Sul - MEAS, Massa Tropical Atlântica - MTA e Massa Polar Atlântica - MPA), bem como pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esse domínio climático também se caracteriza por temperaturas elevadas ao longo de todo o ano, apresentando apenas uma leve diminuição durante o inverno. Além disso, a precipitação se concentra entre o final do verão e o inverno, com destaque especial para o período do outono (MENDONÇA, 2007). As características deste tipo climático são exemplificadas pela Figura 11.

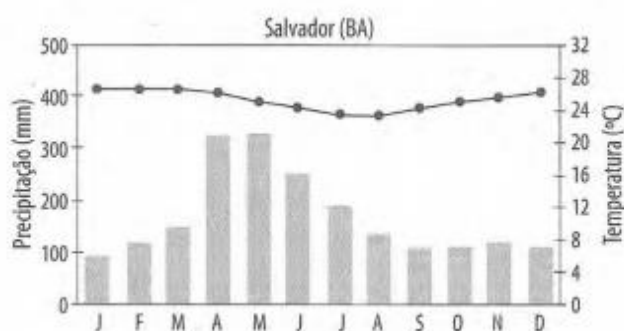


Figura 11. Distribuição das precipitações e temperaturas ao longo do ano
Fonte: Mendonça, 2007.

Clima Tropical Úmido-Seco ou Tropical do Brasil Central - A posição geográfica da região desse domínio climático o coloca sob a influência de sistemas atmosféricos equatoriais (Massa Equatorial Continental - MEC) e tropicais (Massa Tropical Atlântica - MTA e Massa Tropical Continental - MTC), além de uma significativa atuação de sistemas extra-tropicais (Massa Polar Atlântica - MPA). Essa dinâmica resulta em uma variada distribuição de condições climáticas ao longo do ano, com períodos quentes e úmidos predominando no verão, enquanto no inverno predominam períodos quentes e secos, acompanhados de quedas pontuais e médias de temperatura (MENDONÇA, 2007). As características deste tipo climático (com seis a oito meses secos) são exemplificadas pela Figura 12.

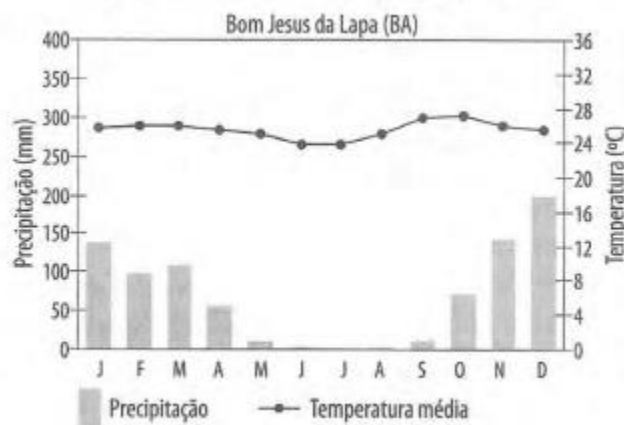


Figura 12. Distribuição das precipitações e temperaturas ao longo do ano
Fonte: Mendonça, 2007.

Portanto, embora Amargosa tenha distribuição de temperaturas mais constantes ao longo do ano, porém, devido o mesmo estar localizado entre os climas Tropical do Brasil Central e Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental, o município possui ampla faixa de transição com clima variando entre esses. O setor leste tem predominância das características climáticas do clima Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental com chuvas concentradas nos períodos de outono e inverno, já o setor oeste tem predominância do clima Tropical do Brasil Central com chuvas concentradas entre a primavera e verão. A faixa de transição no setor central possui características intermediárias entre os climas. Observa-se aumento dos meses secos no sentido oeste na área de estudo; seguindo em direção ao clima Tropical Brasil Central.

3.1.2. Geologia e Geomorfologia

Segundo IBGE (2023) o município está localizado no domínio nas províncias estruturais do São Francisco e Cobertura Cenozoica com subprovíncias estruturais do Jequié-Curaçá e Cobertura Cenozoica Indiscriminada (Figura 13).

As características descritivas das subprovíncias podem ser observadas através da definição de IBGE (2020):

Jequié-Curaçá - A Subprovíncia Jequié-Curaçá originou-se, em sua fase inicial, pela junção de blocos litosféricos mesoarqueanos, identificados de três formas distintas: remanescentes do embasamento antigo, como o Bloco Serrinha e o Fragmento Mairi, compostos por terrenos do tipo granito-greenstone belt e domos TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito); uma sequência de arcos magmáticos acrecionários arqueanos, vinculados ao Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá; e arcos

continentais ou colisionais, representados pelo Bloco Jequié.

Cobertura Cenozoica Indiscriminada - englobam extensas áreas de planícies predominantemente continentais, entre as quais se destaca a Planície Amazônica. Essas formações podem ter origem fluvial ou flúvio-lacustre e acompanham a maioria dos cursos d'água, sendo constituídas por sedimentos aluviais. Dependendo de fatores geológicos ou climáticos, esses depósitos podem formar terraços — planícies antigas hoje elevadas — ou ainda aparecer como aluviões holocênicos recentes, observados em margens de rios, ilhas, canais, furos e lagos.

Conforme descrito por Lima, Vasconcelos e Gomes (2014), o conjunto TTG integra uma associação de rochas gnáissicas de alto grau metamórfico, caracterizada pela presença de minerais como quartzo, feldspato e biotita.

A área de estudo está localizada no domínio nas províncias estruturais do São Francisco com subprovíncia Jequié-Curaçá.

Segundo o Serviço Geológico do Brasil (2009) os principais Litotipos encontrados na área de estudo são Granulito, Granulito charnockítico e Granulito enderbítico (Figura 13),

As características desses Litotipos são descritas abaixo:

Granulito - De modo geral, essas rochas apresentam composição dominada por feldspatos e minerais anidros, especialmente piroxênios — com predominância de ortopiroxênio — além de quartzo e granada. Em variedades mais aluminosas, é frequente a presença de minerais como cordierita, sillimanita e espinélio. A textura típica é granoblástica, podendo evoluir para feições orientadas e alongadas, como nas texturas flaser e milonítica, enquanto a estrutura varia de maciça a bandada, com caráter gnáissico (HARLEY, 1989).

Granulito charnockítico - Quando analisadas ao microscópio, essas rochas exibem textura granoblástica inequigranular. Sua composição mineralógica inclui microclina mesopertítica, quartzo, plagioclásio, ortopiroxênio, biotita e minerais opacos, além de zircão, apatita e outros minerais opacos presentes como fases acessórias (PAIVA, 2026).

Granulito enderbítico - Do ponto de vista petrográfico, são compostos principalmente por plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio, clinopiroxênio, biotita e hornblenda. Em menores proporções, ocorrem microclina, minerais opacos, apatita e zircão como fases acessórias. De modo geral, apresentam textura granoblástica

poligonal, podendo exibir porções foliadas nas quais há maior concentração de biotita (PAIVA, 2016).

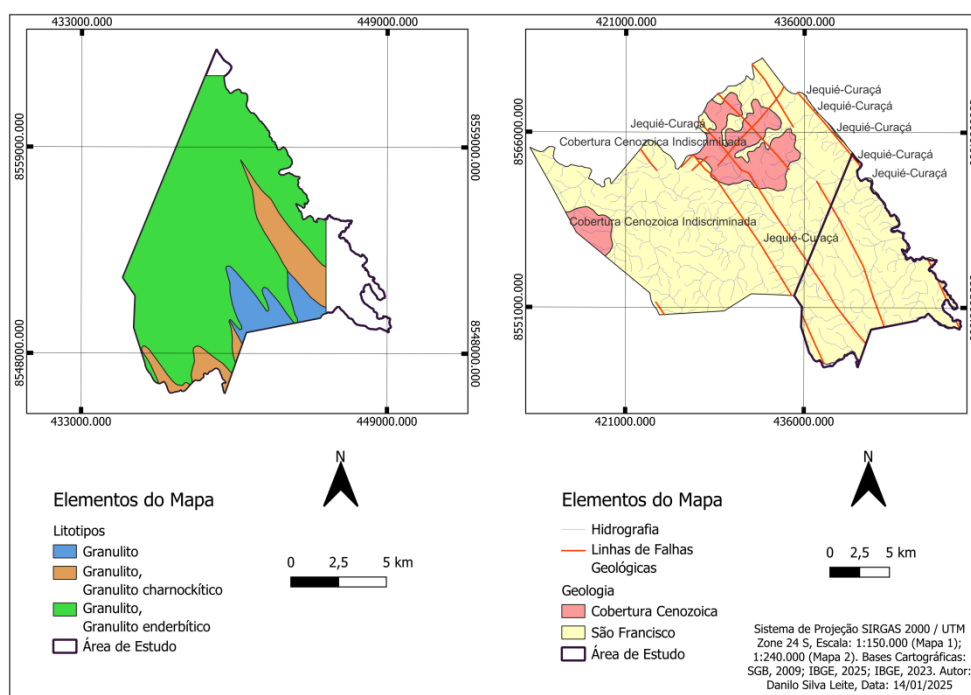


Figura 13. Geologia do Município de Amargosa.

Fonte: Organizado pelo autor.

Segundo IBGE (2023) a geomorfologia do município de Amargosa é composta pelos domínios morfoestruturais: Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas e Crátons Neoproterozóicos (predominante). Segundo o IBGE (2025) as unidades geomorfológicas são:

- Planalto de Maracás - O planalto se assenta sobre gnaisses charnockíticos do Complexo de Jequié, formados no Proterozóico Inferior, e encontra-se recoberto por depósitos elúvio-coluviais detrítico-lateríticos de idade cenozóica. Durante o Terciário Inferior, essa área passou por processos de pediplanação, condicionados por um clima rigoroso marcado por duas estações bem definidas. A superfície suavizada que se originou nesse período foi, mais tarde, retrabalhada por agentes erosivos, em um contexto climático mais úmido, o que favoreceu a instalação da rede de drenagem atual. Como consequência, o antigo pediplano perdeu suas feições originais, dando lugar às formas dissecadas que se observam hoje. A dissecação da superfície aplainada está relacionada, sobretudo, à erosão regressiva dos tributários do rio Jequiriçá. Entre os pedimentos destacam-se extensos afloramentos rochosos, configurando dorsos e escudos que se prolongam em rampas e convergem para os

vales. Nessa transição é possível identificar diferentes tipos de rampas, como as de espraiamento, afogamento e, em alguns casos, de erosão. O escoamento superficial, tanto difuso quanto concentrado, favorece a formação de sulcos e ravinas. Já nas encostas dos vales aparecem sinais de erosão mais intensa, expressos por terracetes e movimentos de massa;

- Serras Marginais - As formas residuais de topos planos evidenciam a ação dos processos de pediplanação que nivelaram o Planalto de Maracás durante o Terciário Inferior. Posteriormente, a dissecação intensa e a abertura de vales, condicionadas por episódios tectônicos, remodelaram a paisagem, adaptando-se a falhas e fraturas. Em algumas vertentes nota-se a presença de planos inclinados que conectam o topo convexo à base côncava. Com frequência, essa convexidade é interrompida no meio da encosta pelo surgimento de ravinas e pela formação de alvéolos de cabeceira, configurando pequenos anfiteatros, alguns deles com afloramentos rochosos internos. Os movimentos de massa, por sua vez, tendem a se intensificar devido à ação humana, enquanto os terracetes de pisoteio são comuns em toda a área. Ocasionalmente, identificam-se nichos resultantes de desmoronamentos associados a vales colmatados (Arc);

- Serras e Maciços Pré-Litorâneos - Os condicionantes litoestruturais tiveram papel decisivo na configuração do relevo dessa unidade. As cristas alinhadas se organizam em função de vales de origem estrutural. A drenagem, ao se ajustar às falhas e fraturas, promoveu a escavação dos vales, o que favoreceu a atuação e intensificação da erosão. Nas áreas mais rebaixadas, desenvolveram-se grandes alvéolos, circundados por relevos mais altos, cujos sopés se unem a rampas que convergem para o interior dos vales. Esse arranjo origina lombadas que margeiam depressões úmidas e várzeas, associadas a depósitos de colmatação aluviais (Apf) e coluviais. Os movimentos de massa, por sua vez, podem ocorrer de maneira significativa. Além disso, processos de sulcamento e ravinamento geram uma segunda ordem de formas menores, como colinas baixas e suavizadas, encaixadas nos relevos mais expressivos.

A Figura 14 apresenta a distribuição das unidades no município.

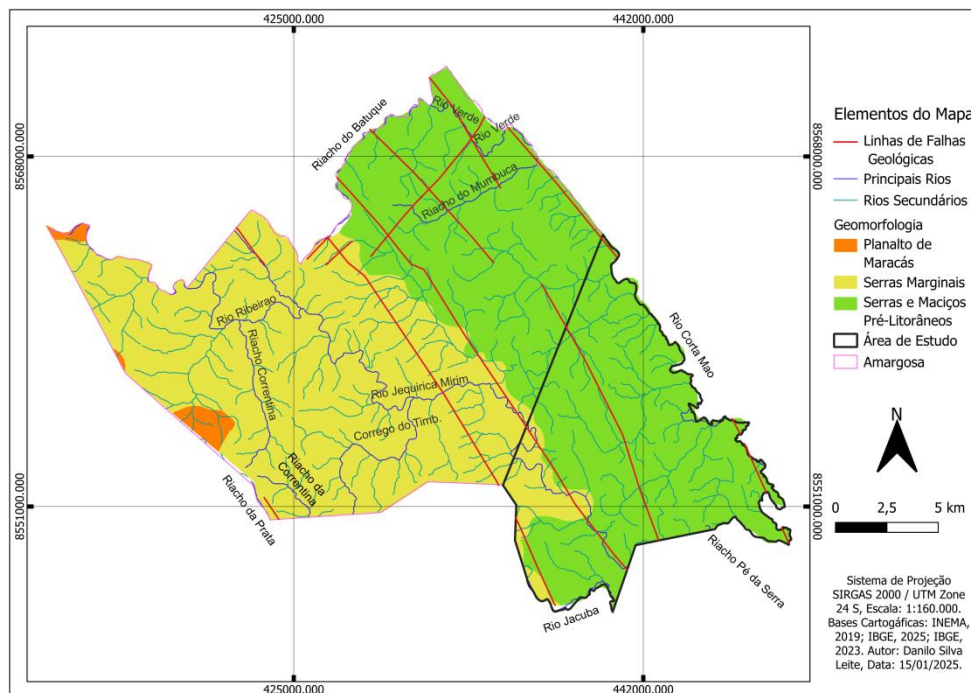


Figura 14. Domínios Geomorfológicos do município de Amargosa.
Fonte: Organizado pelo autor.

A unidade geomorfológica predominante na área de estudo é Serras e Maciços Pré-Litorâneos, porém, encontra-se a unidade Serra Marginais na área estudada.

3.1.3. Hidrografia, Topografia e Declividade

A Figura 15 apresenta os principais os cursos hídricos do município de Amargosa. Observa-se que os Rios Ribeirão, Jequiriça-Mirim, Verde e Corta-Mão se destacam, outros cursos secundários podem ser visualizados. Esses cursos drenam para a Bacia do Rio Jiquiriça considerado o principal rio do Território Vale do Jiquiriça. No município de Amargosa, o Rio Ribeirão/Jequiriça-Mirim (considerado o mesmo rio pela população local) destaca-se como principal curso d'água, nascendo no município de Nova Itarana e desaguando no Rio Jiquiriça na divisa entre os municípios de Mutuípe e Laje. O Rio Ribeirão inicia seu curso no município de Amargosa como temporário sendo perenizado pelo Riacho Correntina; aumentando seu curso através de outros afluente como o Córrego do Timbó. No entanto, segundo a população local, o Riacho Correntina vem se tornando temporário em períodos de estiagem intensa; levando ao aumento do trecho temporário do Rio Ribeirão no município de Amargosa. Os principais rios localizados na área des estudo são Rio Ribeirão (ou Jiquiriça-Mirim) e Rio Corta-Mão.

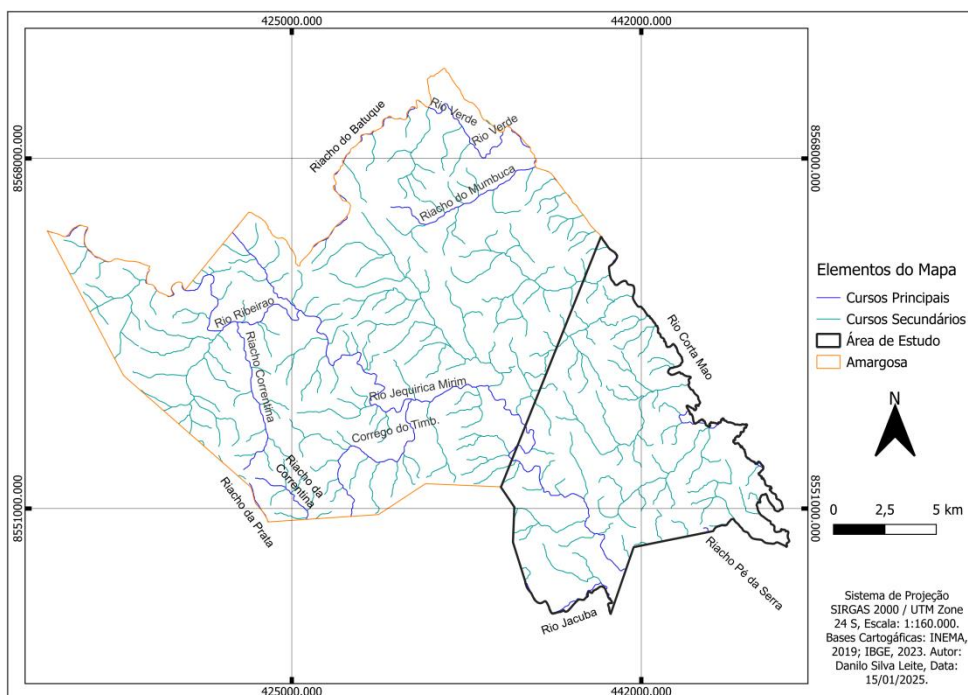


Figura 15. Rede hidrográfica do município de Amargosa.
Fonte: Organizado pelo autor.

A variação da altitude no município de Amargosa pode ser visualizada na Figura 16, onde se verifica grande amplitude altimétrica com variação de 195 m a 882 m. As maiores altitudes são encontradas no setor sudoeste, sendo as menores no setor sudeste (área de estudo).

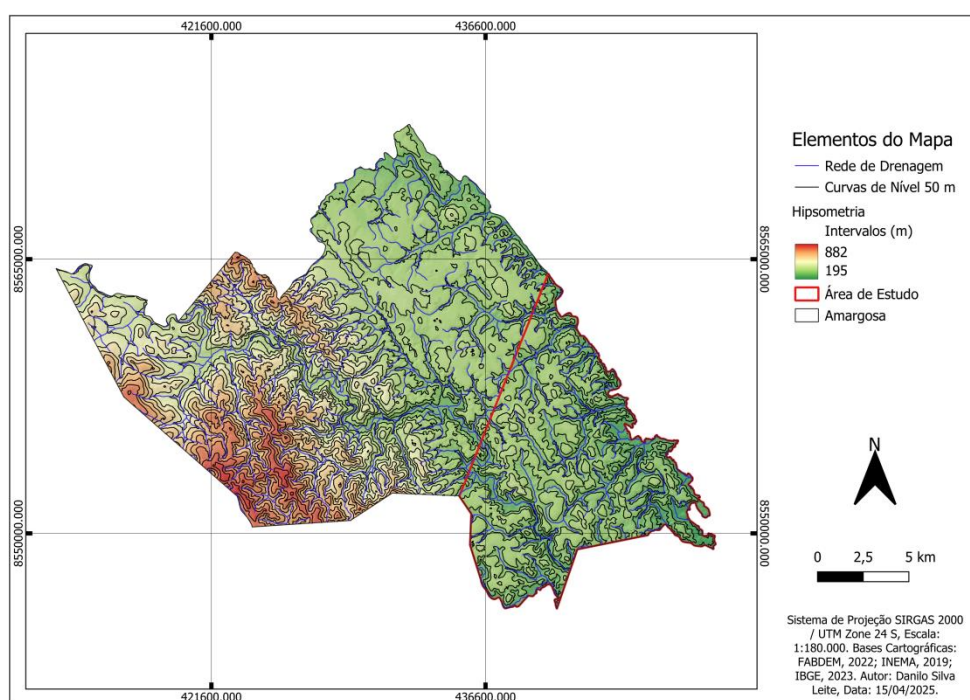


Figura 16. Hipsometria do município de Amargosa.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que as maiores declividades estão localizadas próxima a rede de drenagem. A Figura 17 apresenta o comportamento da declividade no município de Amargosa. A área de estudo apresenta grandes declividades as margens dos principais rios: Rio Ribeirão e Rio Corta-Mão.

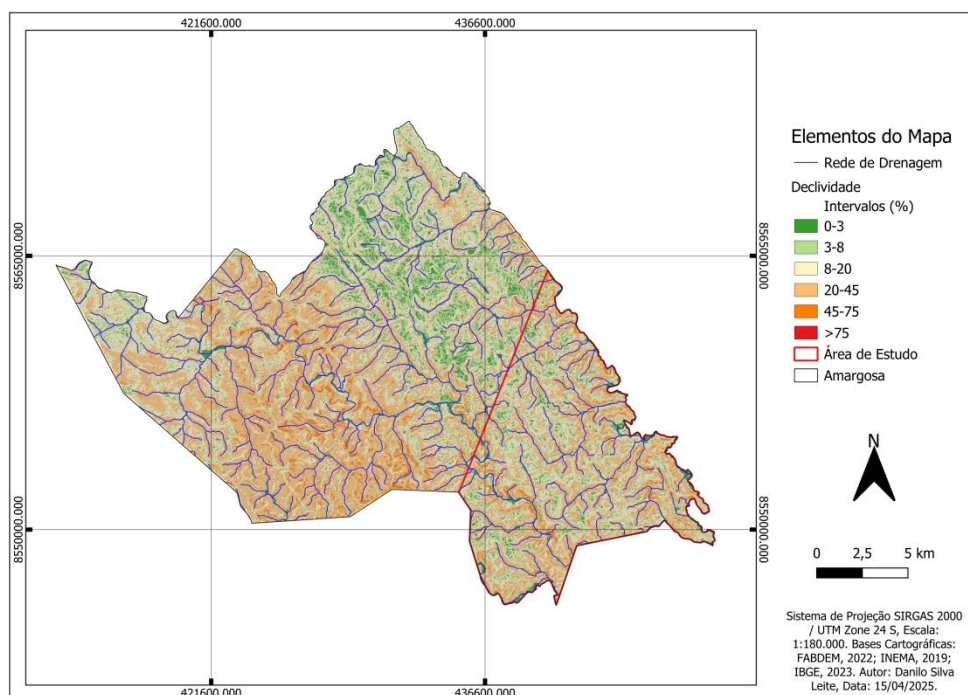


Figura 17. Declividade do município de Amargosa.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.4. Pedologia

Os solos encontrados no município de Amargosa pertencem aos grandes grupos Latossolo Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Argissolo Amarelo Distrófico e Planossolo Háptico Eutrófico (IBGE, 2023). Observa-se a distribuição dessas classes na Figura 18. Segundo IBGE (2025) os principais grandes grupos da área de estudo são Latossolo Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Argissolo Amarelo Distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico com inclusões como Neossolo Litólico Distrófico, Neossolo Flúvico Distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Argissolo Vermelho Eutrófico, Planossolo Háptico Eutrófico. Observa-se que na área de estudo o grande grupo predominante é Latossolo Amarelo Distrófico.

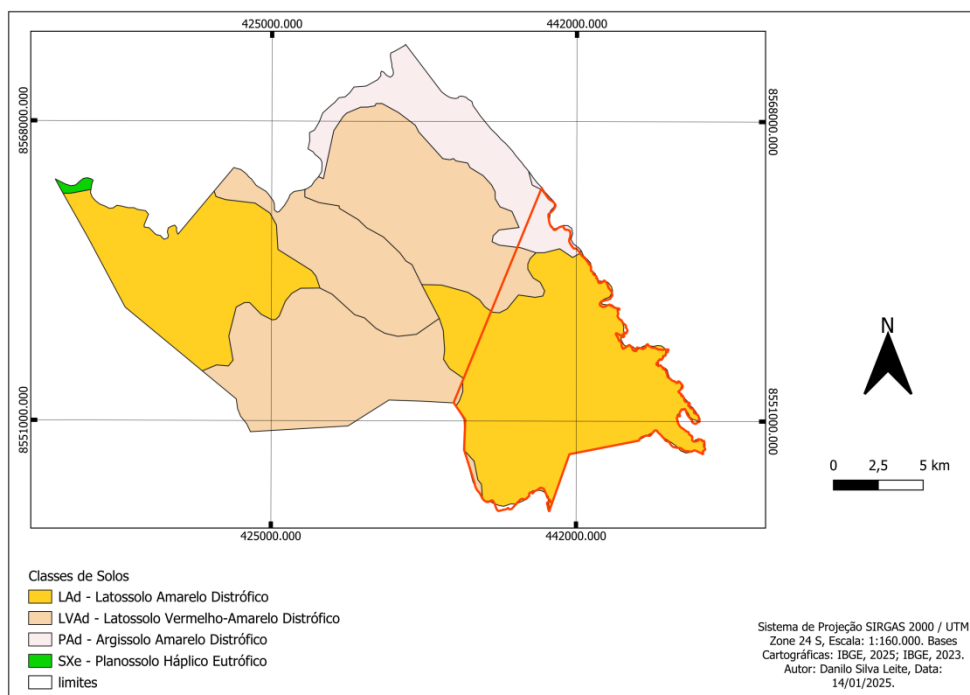


Figura 18. Distribuição das classes de solos no município de Amargosa.
Fonte: Organizado pelo autor.

O trabalho de Oliveira (2003) de caracterização físico-ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho Trapiá/Jacutinga no Recôncavo Sul, sendo essa microbacia vizinha ao Sudeste de Amargosa, encontrou e descreveu diversos tipos de solos. Observa-se que o autor descreveu as características do Latossolo Amarelo encontrado, sendo :

LATOSSOLO AMARELO Coeso típico:

- material de origem - Sedimentos argilo-arenosos do Grupo Capim-Grosso;
- Erosão laminar - Presente/Ausente.
- Drenagem - Bem drenado;
- Uso - Agricultura/Pastagem/Floresta;
- Relevo - Forte Ondulado/Ondulado

LATOSSOLO AMARELO Coeso típico:

- material de origem - Produto da decomposição do Granulito;
- Erosão laminar - Presente/Ausente.
- Drenagem - Bem drenado;
- Uso - Pastagem/Floresta;
- Relevo - Forte Ondulado/Ondulado.

Além disso, o mesmo autor descreve que os perfis avaliados indicam solos com variação textural desde franco-argilo-arenosa até muito argilosa, além de elevados conteúdos de argila dispersa. De modo geral, esses solos são caracterizados por alta acidez, baixa saturação por bases (distróficos) e, frequentemente, apresentam níveis elevados de alumínio no complexo de troca.

Santana (2002) descreve um perfil de solo no limite (região de Corta-Mão) da área avaliada nesse estudo, segundo esse autor o solo encontrado foi LATOSSOLO AMARELO Coeso típico A moderado, localiza-se na rodovia Amargosa–Corta Mão, a aproximadamente 15 km da sede do município de Amargosa, posicionando-se no terço superior do relevo. O relevo é fortemente ondulado, composto por colinas e outeiros com vertentes convexas que alcançam centenas de metros de extensão, além de vales em formato de “V” aberto, apresentando declividade média em torno de 30%. A altitude aproximada é de 340 metros. Os solos apresentam boa drenagem, com ocorrência de erosão laminar de baixa intensidade. Desenvolvem-se a partir de sedimentos argilo-arenosos do Grupo Barreiras, datados do Terciário Recente. A vegetação original corresponde à Floresta Tropical Subperenifólia, embora atualmente a área seja utilizada para atividades agrícolas, com cultivo de mandioca, fumo, citros, além de áreas destinadas a pastagens e cacau.

Santos (2011) avaliando os solos da Região do Timbó no Vale do Jiquiriça que ocupa parte do município de Amargosa e vizinha a área de estudo, descreveu o LAd da região como sendo encontrados em vale fundo, tabuleiro e chapada. O mesmo autor, relata as características atribuídas pelos agricultores a esse tipo de solo, onde a descrição é: Terra seca; terra quente; barro fofo; barro solto; barro amarelado; veia de terreno fraca.

O LAd na Região do Timbó apresenta forte deficiência de fertilidade, muito forte susceptibilidade a erosão, forte impedimento a mecanização e relevo forte ondulado e montanhoso (SANTOS, 2011).

3.1.5. Vegetação

O município de Amargosa está compreendido, principalmente, no bioma Mata atlântica, porém uma pequena parte está no bioma Caatinga. Nesse sentido, observa-se a presença de ampla faixa de transição entre os biomas com áreas apresentando vegetação dos dois biomas.

As Caatingas podem ser descritas como formações florestais compostas por

árvores e arbustos de porte baixo, muitas vezes com espinhos, folhas pequenas e outras adaptações típicas de ambientes secos (LEAL *et al.*, 2003). Nesse ambiente, predominam as espécies decíduas, cuja intensidade de perda de folhas varia conforme a resposta ao déficit hídrico. Algumas espécies perdem suas folhas logo após o término da estação chuvosa, enquanto outras as mantêm até o final da estação seca. Essa dinâmica cria mosaicos temporais e espaciais nos diferentes microambientes durante o período seco (FRANKIE *et al.*, 1974).

Segundo o Instituto Brasileiro de Florestas (2025), a Mata Atlântica originalmente ocupava uma área de 1.110.182 km², representando cerca de 15% do território brasileiro. Atualmente, restam apenas 12,5% dessa cobertura florestal original. Este bioma estende-se ao longo da costa, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, abrangendo total ou parcialmente os estados de Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Sergipe. Além disso, a Mata Atlântica caracteriza-se por uma diversidade de formações vegetais que incluem diferentes ecossistemas florestais com estruturas e composições florísticas variadas, refletindo as condições climáticas específicas das regiões em que ocorre. A Mata Atlântica é formada por diferentes tipos de florestas nativas, como a Floresta Ombrófila Densa, a Floresta Ombrófila Mista (também conhecida como Mata de Araucárias), a Floresta Ombrófila Aberta, a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Estacional Decidual. Além disso, abriga ecossistemas associados, incluindo manguezais, vegetação de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e áreas florestais isoladas no Nordeste (BRASIL, 2024).

No Nordeste do Brasil, encontra-se uma faixa entre o bioma Caatinga e Mata Atlântica chamada de Agreste.

Agreste e sertão representam duas terminologias ligadas às Caatingas e ao seu conceito fitogeográfico. Portanto, uma breve discussão destes termos é necessária para esclarecer as análises subseqüentes. O agreste é o nome dado à faixa estreita de vegetação que se estende entre os limites da serra do Mar a leste, onde as florestas são abundantes, e os interiores mais secos a oeste. Ela tem uma forma alongada com uma direção geral norte-sul, e que pode ser encontrada do Rio Grande do Norte à Bahia central, onde é substituída nesta região de transição pela, assim chamada, “mata de cipó”. O agreste apresenta um regime de chuvas mais abundante (até 1000 mm/ano) e é menos sujeito às secas catastróficas uma vez que se beneficia da umidade residual dos ventos do sudeste. A vegetação compartilha muitas características e espécies com as expansões semi-áridas a oeste: as plantas geralmente são decíduas e espinhosas, os cactos e bromeliáceas estão presentes no

solo pedregoso, microfilia generalizada, as espécies lenhosas e suculentas mais características no agreste também ocorrem no resto das Caatingas, tais como *Schinopsis brasiliensis*, *Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & Rowley (“xique-xique”, Cactaceae), *Aspidosperma pyrifolium*, *Cereus jamacaru* P. DC. (“mandacarú”, Cactaceae), *Caesalpinia pyramidalis*, *Tabebuia impetiginosa*, *T. aurea* (Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore (“craibeira”, Bignoniaceae), *Commiphora leptophloeos*, *Cnidocolus phyllacanthus*, *Mimosa* spp. (AndradeLima 1954, 1960, 1970, 1973). (LEAL *et al.*, 2003, p. 24-25)

A Figura 19 apresenta os diferentes tipos de vegetações e biomas encontrados no município de Amargosa.

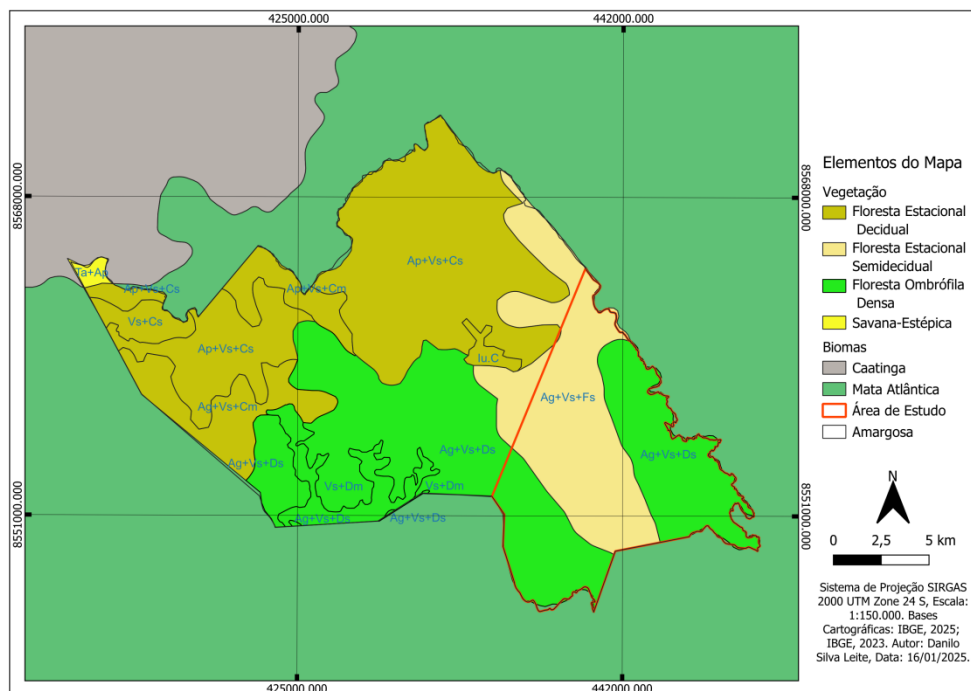


Figura 19. Variedade de vegetações e biomas no município de Amargosa.
Fonte: Organizado pelo autor.

Segundo IBGE (2025):

Ag = Agropecuária

Ap = Pecuária

C = Floresta Estacional Decidual

Cm = Floresta Estacional Decidual Montana

Cs = Floresta Estacional Decidual Submontana

Dm = Floresta Ombrófila Densa Montana

Ds = Floresta Ombrófila Densa Submontana

Fs = Floresta Estacional Semidecidual Submontana

Iu = Influência urbana

Ta = Savana-Estépica Arborizada

Vs = Vegetação Secundária

A região sudeste de Amargosa, área de estudo desta pesquisa, está dentro do bioma Mata Atlântica e apresenta dois tipos de vegetação sendo a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Estacional Semidecidual, sendo as seguintes características:

Ag = Agropecuária

Vs = Vegetação Secundária

Fs = Floresta Estacional Semidecidual Submontana

Ds = Floresta Ombrófila Densa Submontana

3.2 Metodologia

Para alcançar aos objetivos propostos, a metodologia utilizada no trabalho foi definida em 4 etapas: a. Revisão bibliográfica; b. Estruturação de dados em SIG; c. Quantificação da erosão hídrica por modelo preditivo; d. Impactos dos processos erosivos na agropecuária: perda de nutriente e custo de reposição.

a. Revisão bibliográfica

A primeira etapa consistiu no levantamento de informações em artigos, livros e documentos técnicos sobre a erosão hídrica do solo e seus impactos nos sistemas agropecuários. Nessa etapa, buscou-se acumular e organizar conhecimento científico disponível a cerca do tema de estudo e os fatores que envolve os processos erosivos.

b. Estruturação de dados em SIG

A segunda etapa do trabalho abrangeu 4 Fases: Aquisição de dados, Organização de dados, Fatores e Resultado Final. A Fase 1 constitui na aquisição de dados para o processamento, sendo obtidos dados pluviométricos do balanço hídrico adquiridos da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), dados de textura do solo da camada de 0-20 provenientes dos trabalhos de assistência técnica e extensão rural (ATER) da Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente (SEAMA) de Amargosa junto aos agricultores familiares, modelo digital de terreno do Forest And Buildings removed Copernicus DEM (FABDEM), e obtenção de imagens do Sentinel 2 através do Google Earth Engine.

A Fase 2 constitui no processamento 1 dos dados obtidos na primeira fase,

sendo calculado as erosividades municipais e da área de estudo, obtenção das erodibilidades encontradas no município de Amargosa, obtenção da declividade do mesmo município via QGIS (3.34) e a distribuição do uso e ocupação do solo de Amargosa via classificação supervisionada no Google Earth Engine.

A Fase 3 constitui no processamento 2 com obtenção dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) com definição dos valores para Erosividade (R), Erodibilidade (K), Fator Topográfico (LS) e Uso do Solo e Práticas Conservacionistas (CP); esses fatores foram obtidos para o município em estudo com padronização da resolução espacial para 30 m.

A última fase (Fase 4) foi definida através da obtenção dos mapas como o Potencial Natural de Erosão (PNE) e Perda de Solo (A). A primeira etapa pode ser visualizada na Figura 20.

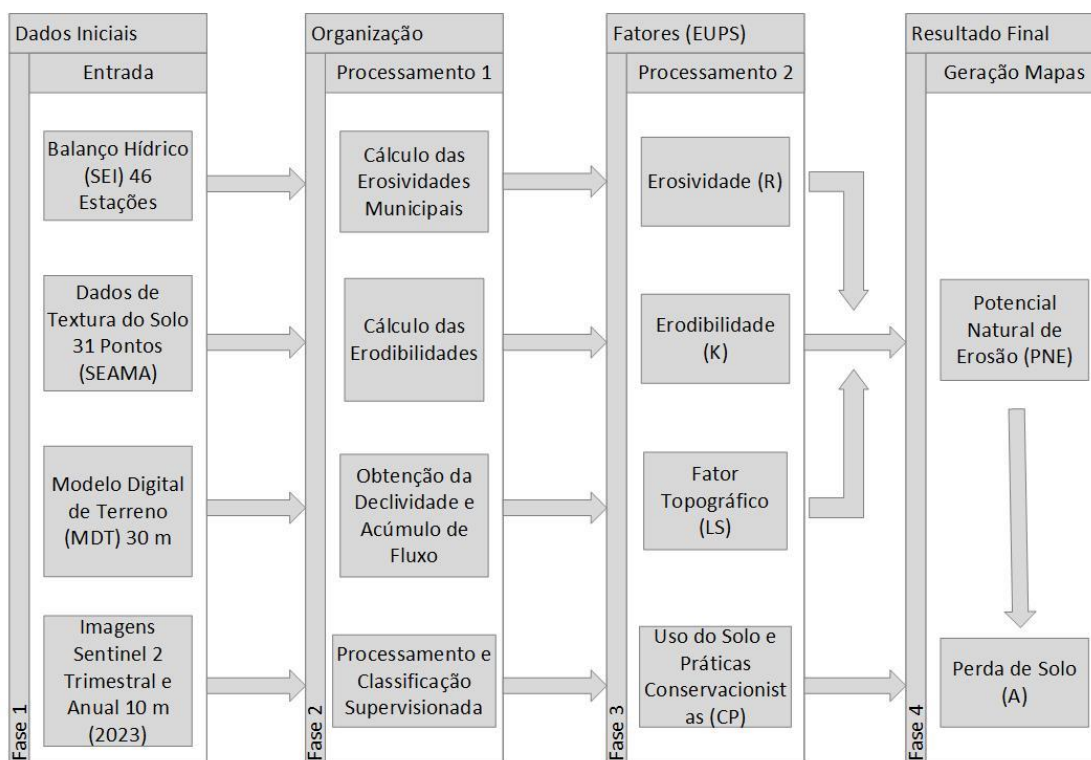


Figura 20. Fluxograma da primeira etapa para obter a Perda de Solo (A).
Fonte: Elaborado pelo autor.

c. Quantificação da erosão hídrica por modelo preditivo

A terceira etapa do trabalho constitui na continuação da etapa anterior através do uso do resultado obtido (Perda de Solo (A)) nela. Nesse sentido, o mapa de Perda de Solo (A) gerado foi analisado em conjunto com o mapa Perda de Solo Tolerável (At) obtido através do IBGE (2025) via principais Subordens de Solo encontradas na área de estudo; sendo a Fase 1. Na próxima fase (Fase 2), foi obtido o Risco de Erosão

(RE) e a elaboração das Zonas de Risco. A Fase 3 foi definida como a obtenção dos fatores da EUPS relacionados aos aspectos naturais que interferem nos processos erosivos (R, K e LS). O processamento em conjunto da Perda de solo Tolerável (At) e os fatores naturais da EUPS (R, K e LS) gerou o Uso e Manejo Permissível (CPp), esse serviu de base para análise através da comparação com o uso atual; sendo essa fase denominada de Fase 4. A Figura 21 representa as fases e processos da segunda etapa.

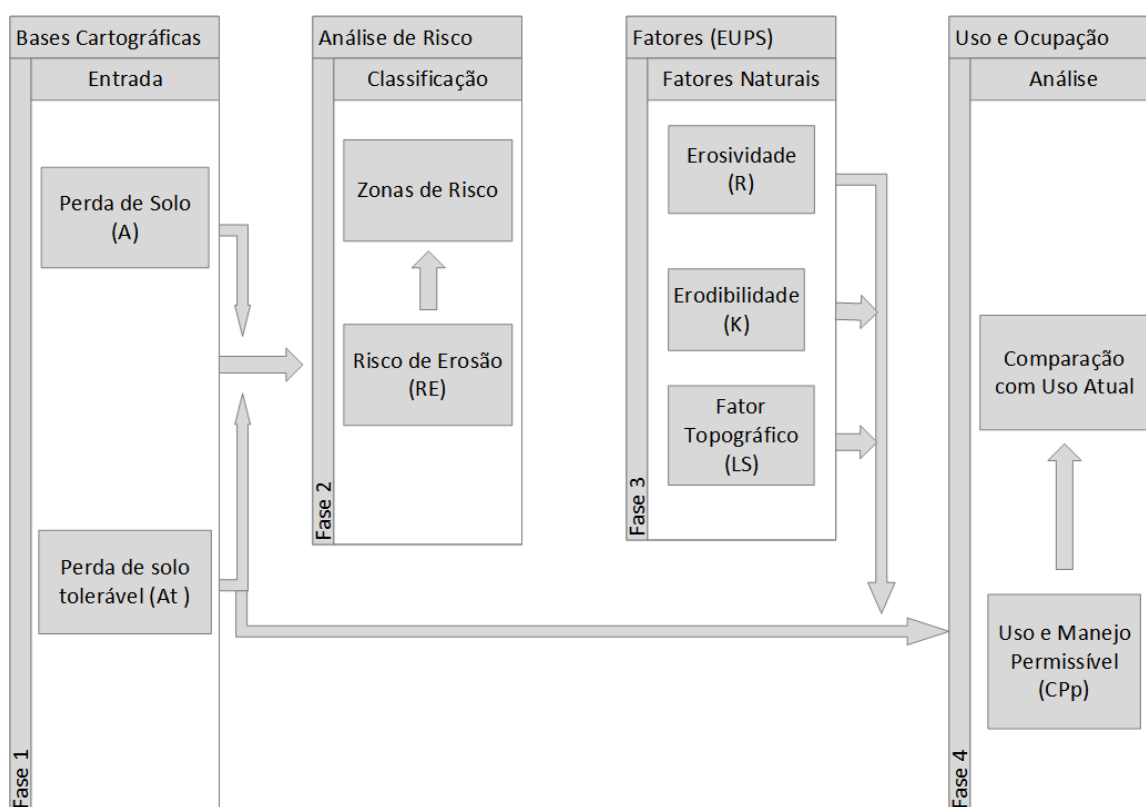


Figura 21. Fluxograma da segunda etapa e análise comparativa do uso e manejo.
Fonte: Elaborado pelo autor.

d. Impactos dos processos erosivos na agropecuária: perda de nutriente e custo de reposição

A quarta etapa (Figura 22) teve como objetivo a avaliar os impactos dos processos erosivos na agropecuária. A Fase 1 relaciona a Perda de Solo (A) com os Dados de Fertilidade do solo no município de Amargosa com objetivo de obter as estimativas das Perdas de Nutrientes e os Custos de Reposição com Fertilizantes, esses últimos ocorrendo na Fase 2 (Análise Econômica). A terceira fase consistiu na análise em conjunto dos resultados das etapas anteriores (Perda de Solo (A), Custo de Reposição com Fertilizantes, Comparação com Uso Atual, Zonas de Risco), esses resultados foram confrontados na Fase 4 e obtido os Impactos na Agropecuária de

Amargosa.

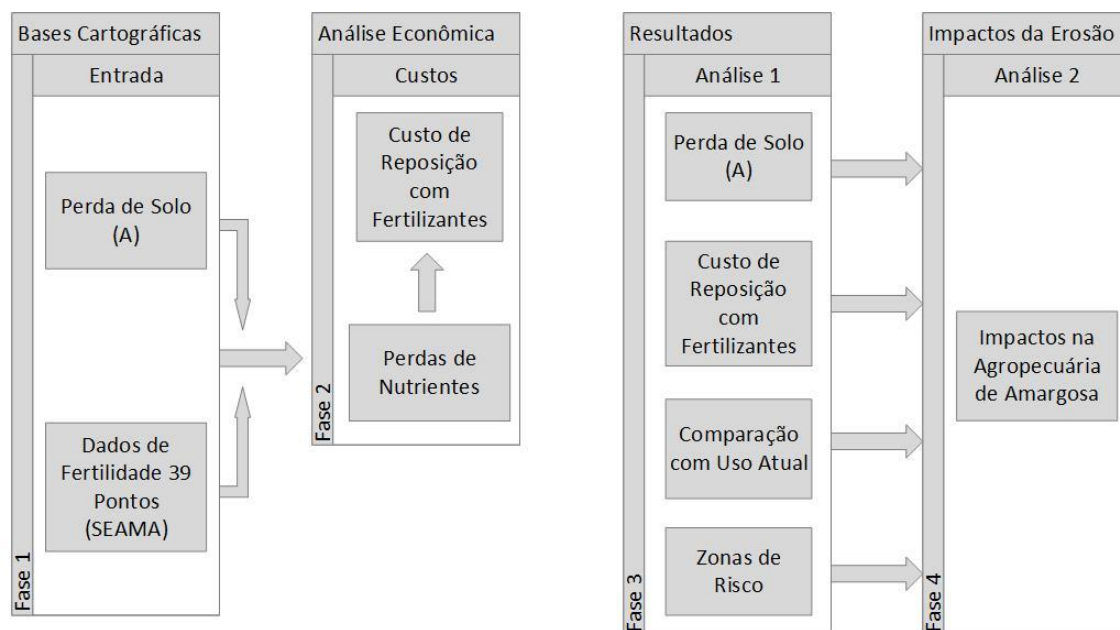


Figura 22. Fluxograma da terceira etapa para analisar os impactos da erosão na agropecuária.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Erosividade da Chuva (R)

O fator Erosividade foi calculado através da formula de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) que utiliza a precipitação média mensal e precipitação média anual, sendo a Equação (19):

$$R = \sum_{j=1}^n Elm \quad (19)$$

Sendo: R é a erosividade anual da chuva (MJ.mm/ano⁻¹.ha⁻¹.h⁻¹); Elm é o índice mensal de erosividade (MJ.mm/ano⁻¹.ha⁻¹.h⁻¹)

O cálculo do Elm é obtido com a Equação (20):

$$Elm = 68,730 (p^2/P)^{0,841} \quad (20)$$

Sendo: Elm = Índice mensal de erosividade (MJ.mm ano⁻¹.ha⁻¹.h⁻¹); p = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm).

A Figura 23 mostra o fluxograma utilizado para o cálculo da Erosividade. As médias históricas de precipitação foram utilizadas para os cálculos de Erosividade, devido as possíveis lacunas nas séries de dados das estações pluviométricas e dificuldades no preenchimento dessas informações como relatado por Brubacher *et al.* (2020). Nesse sentido, os dados de precipitação utilizados foram obtidos através do balanço hídrico dos municípios da Bahia da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI) com período acima de 10 anos, sendo utilizados os municípios dentro do raio de 120 km da coordenada centroide de Amargosa (Figura 24). Segundo a SEI (2023) na elaboração do balanço hídrico climatológico do estado da Bahia e de seus produtos, empregou técnicas de inteligência artificial para o cálculo automatizado de dados, coletados entre os anos de 1991 e 2020, provenientes de postos pluviométricos e estações meteorológicas automáticas e convencionais localizadas no território baiano, além daquelas instaladas nas fronteiras da Bahia com outros estados da federação. Os dados foram processados por meio de um modelo preditivo desenvolvido pela Digeo/CRNA, utilizando a linguagem de programação R, uma ferramenta estatística com alta capacidade de processamento, aplicada no tratamento e análise de um grande volume de informações. O número de bases meteorológicas usadas foi de 46 (Tabela 08). A aquisição dos dados foi definido como Estágio 1.

No Estágio 2 os dados pluviométricos foram organizados em planilha (Tabela 09) e calculado a Erosividade utilizando a fórmula descrita acima; observa-se que foi realizado estatística descritiva com auxílio do software Sisvar nos dados de pluviosidade e Erosividade. O Estágio 3 consistiu na inserção da planilha contendo os dados de pluviometria e Erosividade no software QGIS (3.34) para processamento como definição do Datum (SIRGAS 2000), inserção dos limites municipais da Bahia e recorte dos municípios inseridos no raio de 120 km da coordenada centroide de Amargosa (Figura 24). No Estágio 4 as ferramentas de geoestatísticas foram usadas através da avaliação da dependência espacial com o uso do plugin Smart-Map, esse plugin é usado para avaliação de dependência espacial e tem como resultado final a interpolação dos dados via krigagem ordinária, vários autores utilizaram esse plugin em trabalhos científicos; mostrando sua viabilidade (GRILLO, 2024; ROSSATTO *et al.*, 2024; GUESSER, 2022; SILVA *et al.*, 2022a; MENDIETA, 2022). As variáveis obtidas pelo Smart-Map, após a remoção dos dados com valores discrepantes (Outliers), foram utilizadas para analisar a estrutura espacial dos dados, incluindo o Índice de Moran (I) para avaliar a autocorrelação espacial. Na análise geoestatística, estimaram-se o efeito pepita (C0), a contribuição (C1), o patamar (C0 + C1) e o alcance (A). A

dependência espacial foi expressa pelo índice NE (%), calculado pela fórmula $NE (\%) = (C0 \times 100) / (C0 + C1)$. A qualidade do ajuste do modelo foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2) e pela validação cruzada, considerando o R^2 e o erro quadrático médio da raiz (RMSE).

O Estágio 5 consistiu na Interpolação e obtenção do Mapa Final da variabilidade da Erosividade via Smart-Map; obtendo as erosividades para a área de estudo.

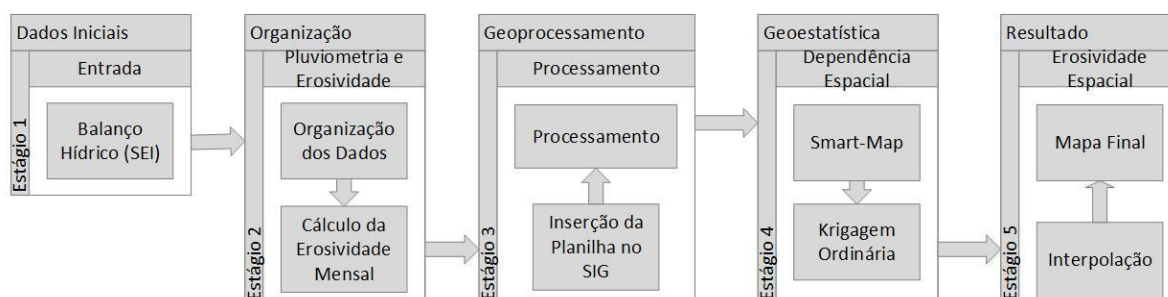


Figura 23. Fluxograma para obtenção da variabilidade espacial da Erosividade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 08. Bases meteorológicas utilizadas para obtenção da Erosividade.

Nº	Município	Período	Tempo	Base	Altitude	Longitude	Latitude
1	Amargosa	1999-2014	15	EBDA	364	434825,3961	8558952,3660
2	Amargosa	2008-2020	12	A434	399	433099,0668	8561738,7680
3	Amélia Rodrigues	1999-2014	15	EBDA	200	526213,2169	8629116,7410
4	Baixa Grande	1999-2013	14	EBDA	375	372847,6226	8678561,2700
5	Boa Vista do Tupim	1999-2014	15	EBDA	382	326113,6690	8600889,4200
6	Camamu	1999-2013	14	EBDA	11	487282,0561	8457649,6530
7	Castro Alves	1999-2014	15	EBDA	237	452844,7929	8590323,1530
8	Conceição da Feira	1999-2014	15	EBDA	230	499883,9578	8618008,7170
9	Conceição do Almeida	1999-2014	15	EBDA	197	481793,2748	8588513,6130
10	Conceição do Jacuípe	1999-2014	15	EBDA	212	525254,9569	8638271,4450
11	Coração de Maria	1999-2014	15	EBDA	193	527075,9024	8647485,1050
12	Coração de Maria	1996-2011	15	DERBA	180	525261,3159	8645643,7790
13	Cruz das Almas	1999-2014	15	EBDA	223	489025,3321	8599575,8770
14	Cruz das Almas	1990-2020	30	83222	221	490257,9036	8598771,9680
15	Cruz das Almas	2003-2020	17	A406	221	490288,0746	8598741,2610
16	Feira de Santana	1999-2014	15	EBDA	219	503478,9209	8643780,6580
17	Feira de Santana	1999-2014	15	EBDA	220	503509,1571	8643811,3960
18	Feira de Santana	1990-2018	28	83221	230	503565,5605	8651760,4150
19	Feira de Santana	2007-2020	13	A413	230	503535,3436	8651760,4180
20	Iaçu	1999-2014	15	EBDA	225	367812,9521	8588209,3440
21	Ipiaú	1999-2024	25	EBDA	150	420733,0373	8437252,6130
22	Ipiaú	2009-2020	11	A445	131	425270,5308	8433208,2320
23	Itaberaba	1999-2013	14	EBDA	254	358637,5145	8613974,8420
24	Itaberaba	1990-2019	29	83244	252	358781,6268	8615136,5620
25	Itaberaba	2003-2020	17	A408	252	358781,6268	8615136,5620
26	Itaparica	1999-2014	15	EBDA	8	534240,5266	8575596,3280
27	Itiruçu	1999-2014	15	EBDA	808	375438,1547	8503441,6030
28	Jaguaquara	1999-2014	15	EBDA	674	393475,4163	8503520,1700
29	Jaguaquara	1990-2016	26	83295	758	378830,5865	8504221,1400
30	Jaguaquara	2003-2020	17	A407	758	378827,3879	8504215,5700
31	Jequié	1999-2014	15	EBDA	259	382809,9027	8468447,3530

32	Macajuba	2003-2020	17	A412	344	352645,9890	8658520,8470
33	Maracás	1999-2014	15	EBDA	974	344707,6474	8514342,1260
34	Maraú	2008-2020	12	A438	6	503000,9484	8462564,9620
35	Marcionílio Souza	1999-2014	15	EBDA	290	333585,8020	8562214,8990
36	Muritiba	1999-2014	15	EBDA	212	501694,1266	8605107,1120
37	Riachão do Jacuípe	1999-2014	15	EBDA	220	458123,0090	8695387,4550
38	Ruy Barbosa	1999-2014	15	EBDA	349	336747,2206	8641514,1350
39	Salvador	1990-2020	30	83229	49	553587,4560	8562167,1830
40	Salvador	2000-2020	20	A401	48	553595,4765	8562202,3720
41	Santo Amaro	1999-2014	15	EBDA	6	532474,9480	8612461,1930
42	Santo Antônio de Jesus	1999-2014	15	EBDA	221	470961,6660	8566386,7010
43	Santo Estevão	1999-2014	15	EBDA	238	472712,8055	8625368,3320
44	São Sebastião do Passé	2007-2018	11	EMBASA	59	555175,4319	8616173,7990
45	São Sebastião do Passé	1999-2014	15	EBDA	43	554209,3012	8616114,2640
46	Valença	2009-2020	11	A444	96	486283,2275	8524861,6150

Fonte: Adaptado de SEI (2023).

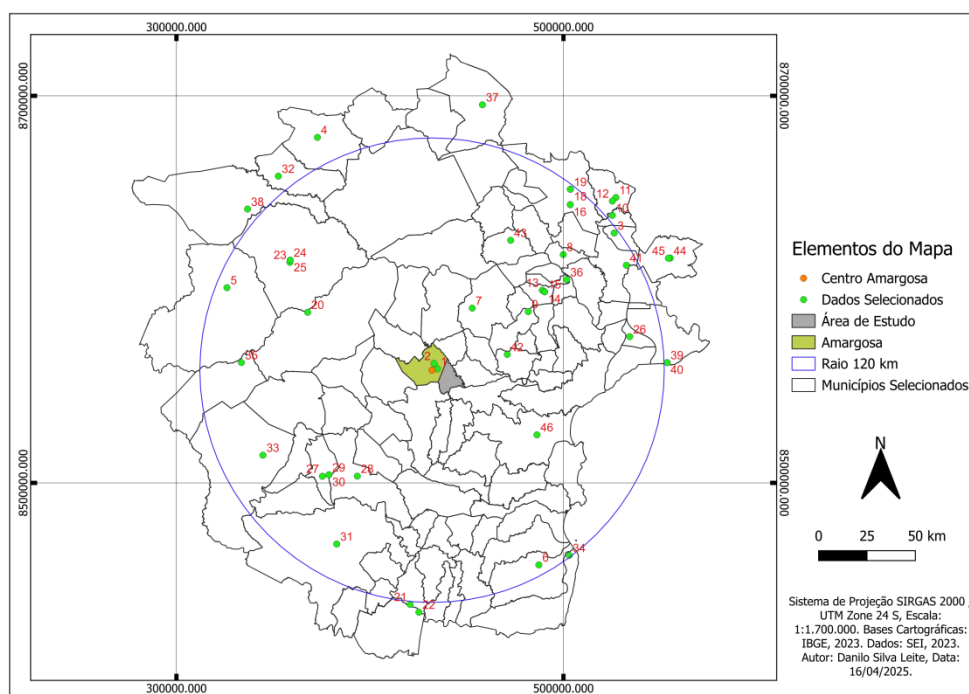


Figura 24. Distribuição das bases meteorológicas utilizadas na pesquisa.

Fonte: Organizado pelo autor.

Tabela 09. Dados pluviométricos (mm) dos municípios selecionados de acordo com a Tabela 08.

Nº	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
1	78,2	103,0	156,7	111,4	72,5	103,9	96,7	79,5	48,0	72,1	73,2	97,8	1.093,0
2	73,2	63,2	81,8	104,2	65,4	72,5	107,3	86,7	56,3	59,4	56,6	83,0	909,6
3	81,5	56,0	66,1	103,8	163,7	168,1	128,4	89,6	85,5	51,5	73,6	61,8	1.129,6
4	94,8	51,9	65,3	56,9	49,8	57,0	34,8	26,3	12,0	24,0	62,3	74,9	610,0
5	77,0	59,9	32,1	48,5	18,7	23,9	11,0	9,7	8,5	27,2	61,8	69,9	448,2
6	197,1	127,7	195,7	177,6	178,6	181,1	186,6	170,5	104,3	98,6	123,0	153,6	1.894,4
7	65,8	75,2	59,4	81,1	63,4	91,9	75,2	52,0	40,2	39,6	54,8	49,5	748,1
8	61,1	53,8	71,2	90,7	153,5	184,7	124,3	95,4	76,7	56,9	83,9	57,9	1.110,1
9	84,6	73,1	92,9	145,2	128,5	189,8	160,1	125,4	97,5	60,8	84,5	84,8	1.327,2
10	45,2	53,2	61,6	64,6	151,2	152,9	111,8	87,0	65,3	56,1	52,7	38,6	940,2
11	77,4	64,1	50,1	79,8	125,6	140,5	93,7	74,0	52,8	56,7	63,1	48,4	926,2
12	73,5	73,3	65,6	79,9	60,4	94,2	73,8	34,5	41,9	18,5	57,9	39,6	713,1
13	83,0	79,6	97,9	123,8	128,3	184,4	131,3	102,7	83,6	61,6	69,7	63,0	1.208,9
14	68,4	76,0	87,7	132,5	133,7	151,7	129,9	93,9	79,9	51,0	71,7	59,8	1.136,2
15	61,4	60,6	75,5	107,4	133,1	148,9	120,7	87,9	73,7	47,6	59,1	53,6	1.029,5
16	51,2	48,3	53,2	77,1	83,5	91,2	62,3	34,8	40,0	32,9	46,5	32,9	653,9
17	61,9	51,3	39,4	43,4	59,1	100,2	66,7	43,8	38,0	31,5	42,5	55,8	633,6
18	61,8	54,8	34,3	70,8	80,3	88,4	67,8	48,0	37,5	32,7	59,2	44,9	680,5
19	48,1	42,4	45,8	55,1	75,5	81,8	70,2	46,8	33,9	38,3	41,9	54,2	634,0
20	65,0	64,6	43,6	26,3	9,6	18,1	12,5	10,6	9,2	21,4	45,9	46,0	372,8
21	93,2	111,6	156,1	102,8	66,6	75,6	71,4	67,5	43,7	64,7	112,1	107,9	1.073,2
22	91,0	78,8	82,3	78,8	56,8	94,9	109,3	80,5	52,7	58,5	107,0	107,9	998,5
23	106,7	74,0	65,4	52,0	31,9	46,7	31,0	23,7	17,2	44,2	78,4	98,7	669,9
24	94,8	59,9	70,8	47,1	28,5	35,7	35,5	20,8	18,2	30,5	70,0	81,2	593,0
25	74,6	56,9	51,4	43,4	25,3	38,1	35,0	23,8	17,4	22,8	60,5	64,7	513,9
26	68,8	95,3	105,8	295,7	334,4	293,6	224,2	126,4	96,1	96,3	83,7	43,2	1.863,5
27	84,3	92,7	103,3	74,8	62,8	72,6	69,7	65,1	37,4	40,6	103,4	101,0	907,7
28	87,2	87,3	89,8	73,2	45,0	57,7	58,8	53,6	40,1	34,2	102,3	102,2	831,4
29	79,0	69,6	80,9	63,1	54,7	70,3	65,0	51,1	41,1	44,4	99,5	81,9	800,6
30	78,0	73,3	90,4	77,2	59,1	67,9	72,7	56,9	43,9	37,9	75,9	78,0	811,2
31	89,7	81,5	86,4	66,9	35,2	29,0	34,0	31,6	21,8	35,8	95,1	119,4	726,4
32	90,5	46,6	68,2	60,0	36,6	42,1	41,2	37,2	24,7	31,2	59,7	67,3	605,3
33	71,2	105,1	84,5	55,1	30,0	31,7	20,7	21,6	28,9	22,8	94,9	94,0	660,5
34	160,7	157,5	161,3	299,9	282,9	230,0	194,2	192,0	118,7	88,7	151,3	139,1	2.176,3
35	64,8	65,0	65,8	65,1	21,6	18,6	10,0	10,8	8,9	24,8	78,5	55,1	489,0

36	68,0	86,9	83,9	168,0	187,1	218,6	138,8	120,2	83,3	76,2	58,2	48,8	1.338,0
37	78,3	56,7	54,1	37,5	52,9	69,2	51,1	35,5	27,0	31,7	46,6	60,0	600,6
38	92,2	81,8	74,6	65,2	49,9	44,7	34,5	30,9	25,9	46,9	81,4	97,8	725,8
39	76,9	98,7	147,3	284,9	302,2	237,6	194,0	129,7	99,3	91,0	108,2	63,4	1.833,2
40	84,5	85,9	155,1	208,3	272,1	215,9	204,7	106,4	92,8	87,5	92,5	75,4	1.681,1
41	78,4	64,7	116,0	162,7	285,9	253,5	182,2	128,3	114,1	91,3	83,8	27,5	1.588,4
42	71,5	82,2	98,4	112,1	107,2	164,2	148,1	116,0	95,3	47,7	81,7	68,1	1.192,5
43	73,2	67,2	61,6	73,6	86,3	126,5	81,4	74,0	52,9	41,6	63,3	39,6	841,2
44	42,2	55,0	76,8	158,3	210,7	147,8	160,1	87,7	49,4	75,8	69,9	50,0	1.183,7
45	101,1	93,2	95,9	185,2	245,0	210,1	153,4	132,5	90,9	84,2	96,7	58,3	1.546,5
46	136,4	137,8	138,4	169,0	167,6	186,6	254,6	189,2	141,8	124,2	132,2	104,3	1.882,1

Fonte: Adaptado de SEI (2023).

3.4 Erodibilidade do Solo (K)

O fator Erodibilidade do Solo foi calculado utilizando o método de Bouyoucos (1935) devido a limitação dos dados adquiridos (Equação 21), na qual se utiliza dados de textura do solo como argila, areia e silte. Foram utilizados os dados texturais (camada 0-20 cm) de 31 pontos obtidos através dos serviços de ATER da Secretaria de Municipal de Agricultura e Meio Ambiente (SEAMA) do município de Amargosa (no anexo 1 a solicitação de uso e anexo 2 os resultados das análises texturais) junto aos agricultores familiares, para o ano de 2023 (Figura 25). Após o cálculo da Erodibilidade, os valores foram interpolados de acordo com o melhor ajuste entre os interpoladores testados, Krigagem Ordinária, ML e IDW (Tabela 10).

$$K = \frac{\%L + \%S}{\%C} * \frac{1}{100} \quad (21)$$

Sendo:

K = Erodibilidade ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

%L = percentual de silte;

%S = percentual de areia;

%C = percentual de argila.

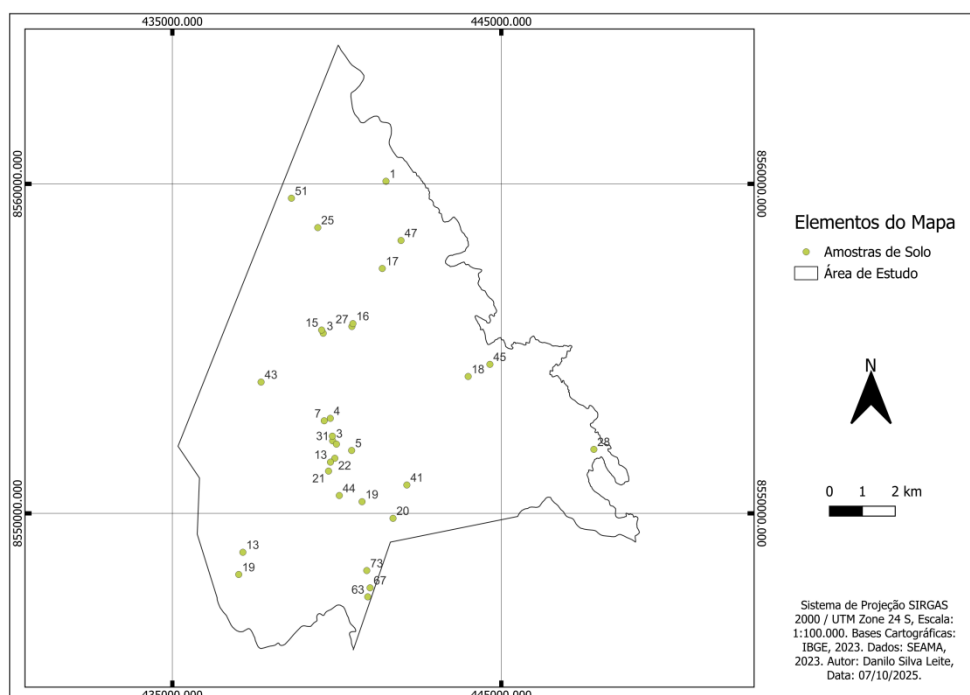


Figura 25. Distribuição das amostras de solo relacionadas as análises físicas (textura)

ano 2023 na área de estudo.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10. Critérios utilizados na escolha do melhor interpolador

Interpolador	Critérios de Escolha
Krigagem Ordinária	I. Moran Significativo (P. Value ≤ 0.05); R ² (Semivariograma) $\geq 0,5$
Machine Learning	I. Moran Significativo (P. Value ≤ 0.05); R ² (Semivariograma) $< 0,5$
IDW	I. Moran Não Significativo (P. Value > 0.05)

Fonte: Elaborado pelo autor.

É válido ressaltar que essa escolha metodológica prioriza maior detalhamento de distribuição da erodibilidade, uma vez que há limitações da escala do mapeamento pedológico, onde há um predomínio bastante generalista de LAd (Latossolo Amarelo Distrófico) em quase toda a área de interesse, sendo a erodibilidade desse estudo relacionada a esse solo. .

3.5 Fator Topográfico (LS)

O Fator Topográfico considera o comprimento de rampa (L) e a declividade do terreno (S), para aquisição do fator topográfico foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) através do Forest And Buildings removed Copernicus DEM (FABDEM), processamento para conversão do Modelo Digital de Superfície (MDS Copernicus 30m) para um Modelo Digital do Terreno (MNT). Hawker et al., (2022) aplicaram técnicas de aprendizado de máquina para eliminar a influência de florestas e edificações, resultando no primeiro modelo digital de terreno global, denominado FABDEM, com resolução espacial de 30 metros. A partir deste MDE, foi realizado o processamento com obtenção da declividade com classificação da mesma e acúmulo de fluxo.

A obtenção do Fator Topográfico seguiu a metodologia utilizada por Oliveira et al. (2023), proposta por Engel (2003) e amplamente descrita em estudos de erosão hídrica do solo, que utilizaram ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para calcular o fator LS com uso de algoritmos e modelo digital de elevação (MDE) utilizando a seguinte Equação (22):

$$LS = \left(FA\left(\frac{cs}{22,13}\right) \right)^{0,4} * \left(\frac{\text{sen}(S)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (22)$$

Sendo:

LS = fator topográfico;

FA = acúmulo de fluxo ou área de contribuição;

CS = tamanho da célula do modelo digital de elevação, correspondente a 30 metros de resolução espacial da imagem de acúmulo de fluxo;

S = declividade em radianos calculada para cada pixel.

3.6 Uso do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)

O Fator CP foi calculado inicialmente com a classificação supervisionada através da identificação dos diferentes usos e coberturas do solo da área de estudo, sudeste do município de Amargosa, para o ano de 2023, com a composição de uma mediana das imagens para cada trimestre e ano com o objetivo de melhor representar a variação do uso e vigor da vegetação durante o ano. Esse processamento foi realizado via Google Earth Engine com imagens do satélite Sentinel 2 (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED), utilizando as Bandas 2 (Blue), 3 (Green), 4 (Red) e 8 (NIR), e procedimento de máscara de remoção de nuvens. A partir da fotointerpretação prévia das imagens, em composição verdadeira R4G3B2, e falsa-cor, R4G8B2 e R8G3B2, foram identificadas as seguintes classes: Floresta; Vegetação Secundária; Pastagem Manejada; Pastagem Degradada; Culturas Temporárias e Solo Exposto. Foram coletadas 10 amostras de treinamento para cada classe, onde a qualidade das amostras foi avaliada através do índice de Kappa e Acurácia geral da validação. O resultado da classificação foi exportado para o QGIS (3.34), com o cálculo da área de cada classe e atribuição dos valores de CP. Devido a restrição de informações locais, o Fator CP para cada classe era atribuído de acordo com a literatura (Tabela 11).

Tabela 11. Valores relacionados ao Fator CP para diferentes usos e ocupação da terra

Identificação	Classes de uso e ocupação da terra ³	Fator CP	Autor
1	FlorestaVegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno - Floresta	0,00004	Stein <i>et al.</i> (1987)
2	Vegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno - Vegetação Secundária	0,00004	Stein <i>et al.</i> (1987)

3	Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno – Pastagem¹	0,01000	Stein <i>et al.</i> (1987)
4	Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno – Pastagem²	0,10000	Stein <i>et al.</i> (1987)
5	Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno - Cultura temporária	0,20000	Stein <i>et al.</i> (1987)
6	Solo Exposto	1,00000	Correa <i>et al.</i> (2022)

¹ Devido as características definidas pelo autor foi atribuído a essa classe no trabalho como “Pastagem Manejada”; ² Devido as características definidas pelo autor foi atribuído a essa classe no trabalho como “Pastagem Degradada”; ³ As classes tem alta relação com vigor vegetativo apresentado no momento da classificação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7. Potencial Natural de Erosão (PNE)

Segundo Oliveira *et al.* (2007) o Potencial Natural de Erosão (PNE) é determinado pela integração dos dados dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), retirados os fatores de interferência antrópica (CP), sendo calculado através da Equação 23.

$$PNE = R \times K \times L \times S \quad (23)$$

Onde: PNE - Perda de solo calculada, em t.ha⁻¹ ano⁻¹; R - Fator chuva, em MJ.mm ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹; K - Fator de erodibilidade do solo em t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹; L - Comprimento do declive em m; S - Fator grau de declive em %, sendo LS o fator topográfico calculado em SIG.

3.8 Perda de Solo (A)

A perda de solo foi calculada através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith (1978) através da Equação 24.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (24)$$

Sendo: A - Perda de solo calculada, em t.ha⁻¹ ano⁻¹; R - Fator chuva, em MJ.mm ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹; K - Fator de erodibilidade do solo em t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹; L - Comprimento do declive em m; S - Fator grau de declive em %; C - Fator de uso e manejo (0 – 1); P -

Fator de práticas conservacionistas (0 – 1).

Obs: os fatores L e S podem ser calculados juntos no SIG e passam a ser denominados de Fator Topográfico (LS); os fatores C e P são comumente atribuído valor única para as duas variáveis denominado de Uso do Solo e Práticas Conservacionistas (CP).

3.9 Risco de Erosão (RE)

O RE foi obtido de acordo com Oliveira *et al.* (2011a) que calcularam a relação entre a perda de solo e os valores de tolerância para essa perda em cada tipo de solo (Equação 25).

$$RE = A \text{ At}^{-1} \quad (25)$$

Sendo: A = Perda de solo $\text{t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; At = Perda de solo tolerável $\text{t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

A perda de solo tolerável (At) foi obtida na literatura sendo relacionada a subordem de solo predominante na área de estudo. A geração do mapa de RE permitiu a definição de Zonas de Risco para processos de erosão laminar.

3.10 Uso e Manejo Permissível (CP_p)

Considerando o Fator P (práticas conservacionistas) igual a 1 e definindo a perda de solo como sendo igual a perda máxima tolerável é possível ajustar a Equação 26 para o obter o uso e manejo permissível (CP_p) (OLIVEIRA *et al.*, 2011a).

$$CP_p = At (R K L S)^{-1} \quad (26)$$

Sendo: CP_p = uso e manejo permissível; At = Perda de solo tolerável $\text{t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R - Fator chuva, em $\text{MJ.mm ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; K - Fator de erodibilidade do solo em $\text{t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$; L - Comprimento do declive em m; S - Fator grau de declive em %. Obs: os fatores L e S podem ser calculados juntos no SIG e passam a ser denominados de Fator Topográfico (LS).

Os mapas de uso atual e permissível foram comparados com o objetivo de analisar a compatibilidade dos usos atuais e o potencial de uso da terra.

3.11. Custo de Reposição com Fertilizantes

O mapa de Perda de Solo (A) e os dados de análise química do solo obtidos através da Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente (SEAMA) da Prefeitura Municipal de Amargosa anexo 1 foram utilizados para estimar as perdas de nutrientes e os custos de reposição via fertilizantes químicos. Os laudos de análise química do solo relacionados ao ano de 2021 (anexo 3) obtidos totalizaram 39 pontos (Figura 26) distribuídos de forma aleatória (incluindo os pontos além da área de estudo com o uso de Buffer de 500 metros) nas áreas dos agricultores familiares acompanhados pela SEAMA. As amostras foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, na camada superficial do solo, foi utilizada essa base de dados devido a maior riqueza de amostras e detalhes nas análises químicas em relação ao ano de 2023. Os nutrientes utilizados para estimar o custo de reposição foram:

- Nitrogênio (N) (mg dm^{-3})¹;
- Fósforo (P) (mg dm^{-3});
- Potássio (K) (mg dm^{-3});
- Cálcio (Ca) (mg dm^{-3}).

¹ Estimado através do teor de Matéria Orgânica no Solo (MOS), sendo 5 % de N total na MOS (INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO, 1998); 2 % de mineralização do N orgânico durante o ciclo da cultura (KOWALENKO, 2006).

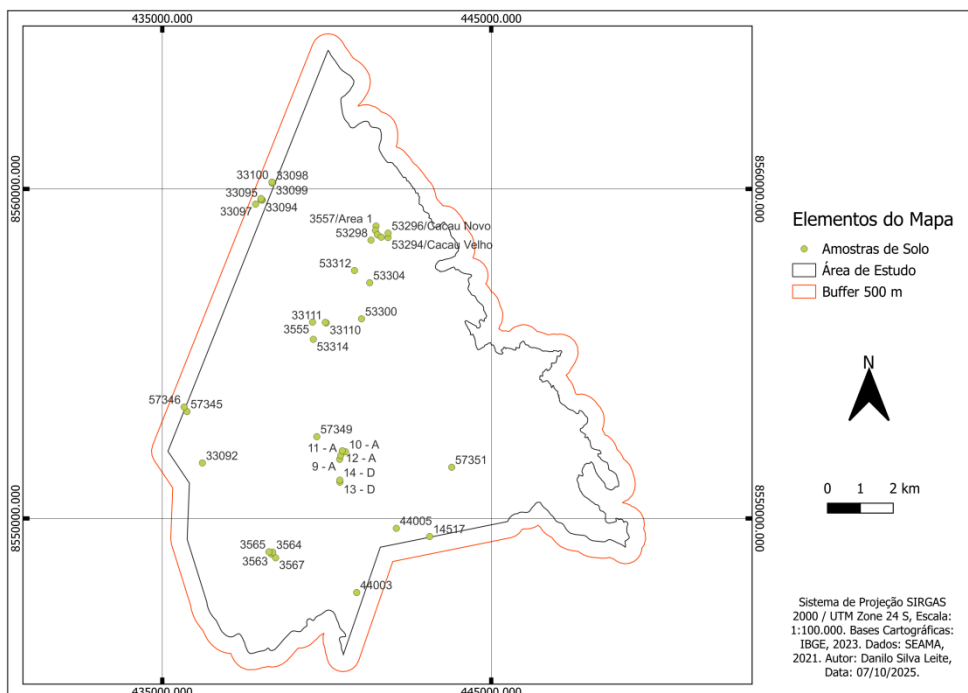


Figura 26. Distribuição das amostras de solo relacionadas às análises químicas ano 2021 na área de estudo.
Fonte: Elaborado pelo autor.

O cálculo da perda de nutriente foi realizado utilizando as equações 27 a 31.

$$\text{Nutriente (Kg ha}^{-1}\text{)} = 2 \text{ y Nutriente (mg dm}^{-3}\text{)} \quad (27)$$

Sendo: y = Valor do nutriente encontrado na análise química em mg dm⁻³.

A relação acima pode ser encontrada no trabalho de Primavesi (2000), na demonstração da relação é considerado a camada de 0-20 cm do solo com densidade de 1 Kg dm⁻³. Nesse sentido, dividindo 2 y Nutriente (Kg ha⁻¹) por 20 cm pode-se estimar a quantidade de nutriente por centímetro de solo.

As relações apresentadas por Sela (2025) (Equação 28) e FAO (1980) (Equação 29) corroboram a relação apresentada na equação 27; justificando o uso do fator 2 para a camada de 0-20 cm.

$$Q = \frac{X * LD * BD}{10} \quad (28)$$

Sendo:

Q = quantidade de nutriente no solo em Kg ha⁻¹;

X = concentração do nutriente no solo em ppm (mg Kg⁻¹);

LD = profundidade da camada em centímetro;

BD = densidade do solo em ton m⁻³.

$$X = \frac{C}{BD} \quad (29)$$

Sendo:

X = concentração do nutriente do nutriente no solo em ppm (mg Kg⁻¹);

C = concentração do nutriente do nutriente no solo em mg dm⁻³;

BD = densidade do solo em ton m⁻³.

Substituindo a concentração (X) da equação 29 na equação 28, o resultado final está expresso na equação 30, onde é verificado que o fator de correção para a camada de 0-20 cm é 2; independente da densidade do solo.

$$Q = \frac{C * LD}{10} \quad (30)$$

Sendo:

Q = quantidade de nutriente no solo em Kg ha⁻¹;

C = concentração do nutriente do nutriente no solo em mg dm⁻³;

LD = profundidade da camada em centímetro;

A EUPS gera a perda de solo em t.ha⁻¹ ano⁻¹, sendo que a profundidade de solo removida na camada de 0-20 cm (realizando as correções de unidade) está relacionada na equação 31.

$$p = \frac{m}{d * A} * 100 \quad (31)$$

p = profundidade de solo removida (cm);

m = massa de solo perdida estimada pela EUPS (Kg m⁻² ano⁻¹);

d = densidade do solo (Kg m⁻³);

A = área (m²). (considerar 1 m²)

A obtenção da densidade do solo foi realizada através dos dados de amostras de solo da SEAMA do ano de 2023, solicitação de uso em ANEXO I e II, (Figura 25) seguindo o modelo de Barros e Fearnside (2015) que obteve o melhor desempenho em seus estudos, o modelo utiliza dados de porcentagem de argila e pH do solo em água, sendo representado na Equação 32:

$$\text{Density} = 1,495 - 0,011 * \text{clay (\%)} - 0,079 * \text{pH (H}_2\text{O)} \quad (32)$$

Density = densidade do solo (Kg dm^{-3})

clay (%) = porcentagem de argila

pH (H_2O) = pH do solo em água

Portanto, a perda de nutriente via erosão laminar está relacionada a profundidade de solo perdido e com a informação da quantidade de nutriente por centímetro de solo a avaliação é viável; sendo usado essa relação no presente estudo.

A informação de nutriente perdida foi corrigida para os teores e as formas químicas encontradas nos fertilizantes, assim o custo de reposição em $\text{R\$ ha}^{-1}$ foi calculado. As características dos fertilizantes estão na Tabela 12.

Tabela 12. Nutrientes, fertilizantes e características químicas

Nutriente	Fertilizante	Fórmula	Porcentagem	Custo ($\text{R\$ Kg}^{-1}$) ²
N	Ureia	N	45	3,41
P	Super Simples	P_2O_5	18	1,89
K	Cloreto de Potássio	K_2O	58	3,81
Ca	Cálcario ¹	CaO	29	0,27

¹o calcário foi escolhido devido sua função como corretivo e fonte de cálcio e magnésio.

²praça Bahia ano de 2023.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O custo de reposição foi obtido através da relação utilizada por Marques *et al.* (2005) (Equação 33):

$$\text{CR} = \sum_{n=1}^4 (P_n * Q_n) \quad (33)$$

Sendo,

CR = Custo de Reposição em R\$;

P_n = Preço dos Fertilizantes em R\$ Kg⁻¹;

Q_n = Quantidade de Fertilizantes em Kg;

$n = 1, 2, \dots, 4$.

A interpolação dos dados seguiu os critérios observados na Tabela 10 através do melhor ajuste entre os interpoladores Krigagem Ordinária, Machine Learning e IDW.

A avaliação dos impactos dos processos erosivos no município de Amargosa consistiu na interação entre os resultados da Perda de Solo (A), do Custo com Reposição de Fertilizantes, comparação com Uso da Terra Atual e Zonas de Risco. Essa análise também foi associada à ocorrência de processos erosivos verificados in loco, com registro fotográfico e georreferenciamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Erosividade (R)

A Tabela 13 apresenta os valores relacionados a variação trimestral e anual das precipitações e erosividades das estações selecionadas no estudo, a Tabela 14 mostra a estatística descritiva desses dados. Nesse sentido, observa-se que a variação nas médias e desvios trimestrais refletiu em diferentes coeficientes de variação (CV) com maiores valores para os trimestres de Abr-Jun (74,777 %) e Jul-Set (66,424 %) e menores para Jan-Mar (35,477 %) e Out-Dez (37,540 %); o CV anual foi de 37,837 %, sendo todos classificados como muito altos > 30 % (PIMENTEL-GOMES, 2023). Menezes (2022) encontrou valores de CV mensais entre 27,32 e 67,94 com valor anual de 22,6 para os municípios situados no Território Identidade Portal do Sertão na Bahia. O maior valor encontrado nesse estudo pode estar relacionado as características dos municípios selecionados, que se encontram no clima Tropical Nordeste Oriental e Tropical Brasil Central com estações de chuvas diferentes e concentradas; sendo o primeiro entre o outono e inverno e o segundo primavera e verão; a área estudada fica localizada na transição entre esses tipos climáticos. A erosividade anual média encontrada por Menezes (2022), de 5218,82 (MJ.mm.ano.ha⁻¹.h⁻¹) foi superior ao estudo com média de 4.577,48 (MJ.mm.ano.ha⁻¹.h⁻¹) para os municípios selecionados.

Tabela 13. Valores relacionados às Precipitações (mm) médias para os municípios selecionados e suas Erosividades (MJ.mm.ano.ha⁻¹.h⁻¹) Trimestrais e Anual

Nº	Jan-Mar	Abr-Jun	Jul-Set	Out-Dez	Anual	E.Jan-Mar	E.Abr-Jun	E.Jul-Set	E.Out-Dez	E.Anual
1	337,9	287,8	224,2	243,1	1.093,0	1.704,7	1.258,9	843,9	939,4	4.747,0
2	218,2	242,1	250,3	199,0	909,6	908,3	1.104,5	1.182,7	786,1	3.981,7
3	203,6	435,6	303,5	186,9	1.129,6	676,8	2.491,3	1.343,7	584,2	5.095,9
4	212,0	163,7	73,1	161,2	610,0	1.252,6	779,3	215,3	832,9	3.080,2
5	169,0	91,1	29,2	158,9	448,2	1.136,2	413,0	54,3	1.032,5	2.635,9
6	520,5	537,3	461,4	375,2	1.894,4	2.165,2	2.238,3	1.783,7	1.239,0	7.426,2
7	200,4	236,4	167,4	143,9	748,1	927,2	1.237,2	706,3	530,5	3.401,2
8	186,1	428,9	296,4	198,7	1.110,1	585,9	2.511,9	1.312,3	663,4	5.073,4
9	250,6	463,5	383,0	230,1	1.327,2	832,9	2.395,0	1.744,2	725,7	5.697,8
10	160,0	368,7	264,1	147,4	940,2	522,6	2.288,1	1.247,5	456,8	4.515,0
11	191,6	345,9	220,5	168,2	926,2	725,4	2.003,8	932,5	574,9	4.236,6
12	212,4	234,5	150,2	116,0	713,1	1.061,9	1.278,0	628,2	418,7	3.386,8
13	260,5	436,5	317,6	194,3	1.208,9	962,4	2.351,8	1.368,7	582,8	5.265,7
14	232,1	417,9	303,7	182,5	1.136,2	834,8	2.259,9	1.343,9	557,7	4.996,3
15	197,5	389,4	282,3	160,3	1.029,5	690,1	2.196,9	1.291,0	483,1	4.661,1
16	152,7	251,8	137,1	112,3	653,9	651,8	1.528,3	563,9	392,9	3.136,9

17	152,6	202,7	148,5	129,8	633,6	681,2	1.162,7	661,4	523,4	3.028,7
18	150,9	239,5	153,3	136,8	680,5	637,0	1.359,6	656,4	539,7	3.192,7
19	136,3	212,4	150,9	134,4	634,0	552,0	1.189,8	689,8	545,5	2.977,1
20	173,2	54,0	32,3	113,3	372,8	1.324,2	194,8	75,6	668,4	2.263,0
21	360,9	245,0	182,6	284,7	1.073,2	1.896,9	974,7	593,4	1.270,5	4.735,5
22	252,1	230,5	242,5	273,4	998,5	1.068,0	937,7	1.046,3	1.270,9	4.322,9
23	246,1	130,6	71,9	221,3	669,9	1.475,8	500,3	183,1	1.266,0	3.425,3
24	225,5	111,3	74,5	181,7	593,0	1.403,4	423,8	220,4	1.026,0	3.073,7
25	182,9	106,8	76,2	148,0	513,9	1.103,1	447,2	257,1	825,9	2.633,2
26	269,9	923,7	446,7	223,2	1.863,5	716,8	5.714,3	1.789,3	538,5	8.758,9
27	280,3	210,2	172,2	245,0	907,7	1.389,6	851,2	627,1	1.186,5	4.054,4
28	264,3	175,9	152,5	238,7	831,4	1.349,5	690,8	537,4	1.248,8	3.826,5
29	229,5	188,1	157,2	225,8	800,6	1.098,7	786,3	588,0	1.126,3	3.599,4
30	241,7	204,2	173,5	191,8	811,2	1.189,2	894,9	690,3	839,3	3.613,7
31	257,6	131,1	87,4	250,3	726,4	1.450,1	498,3	235,2	1.529,4	3.713,0
32	205,3	138,7	103,1	158,2	605,3	1.197,3	606,8	365,6	777,5	2.947,2
33	260,8	116,8	71,2	211,7	660,5	1.628,5	430,1	179,0	1.286,2	3.523,9
34	479,5	812,8	504,9	379,1	2.176,3	1.639,4	4.049,7	1.836,7	1.130,1	8.655,9
35	195,6	105,3	29,7	158,4	489,0	1.270,0	537,1	51,7	980,3	2.839,1
36	238,8	573,7	342,3	183,2	1.338,0	762,7	3.386,2	1.431,9	492,8	6.073,7
37	189,1	159,6	113,6	138,3	600,6	1.024,4	781,3	440,8	613,8	2.860,2
38	248,6	159,8	91,3	226,1	725,8	1.370,9	654,0	250,6	1.217,1	3.492,5
39	322,9	824,7	423,0	262,6	1.833,2	1.011,2	4.796,4	1.603,6	699,7	8.110,8
40	325,5	696,3	403,9	255,4	1.681,1	1.113,7	3.883,5	1.647,2	702,7	7.347,0
41	259,1	702,1	424,6	202,6	1.588,4	780,4	4.219,5	1.786,4	549,8	7.336,1
42	252,1	383,5	359,4	197,5	1.192,5	925,8	1.914,6	1.707,1	621,5	5.168,9
43	202,0	286,4	208,3	144,5	841,2	848,4	1.581,7	907,4	492,6	3.830,1
44	174,0	516,8	297,2	195,7	1.183,7	508,6	3.171,5	1.374,7	609,9	5.664,7
45	290,2	640,3	376,8	239,2	1.546,5	933,9	3.611,5	1.492,3	688,2	6.725,9
46	412,6	523,2	585,6	360,7	1.882,1	1.436,6	2.154,3	2.692,2	1.149,6	7.432,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14. Estatística descritiva das séries temporais avaliadas para os municípios selecionados (46) relacionados aos valores de Erosividade

Período	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Assimetria	Curtose	Normalidade	
							W	pr
Jan-Mar	46	1.074,480	381,193	35,477	0,656	3,074	0,959	0,1080
Abr-Jun	46	1.755,239	1.312,531	74,777	1,123	3,641	0,882	0,0002
Jul-Set	46	938,697	623,528	66,424	0,462	2,577	0,941	0,0223
Out-Dez	46	809,069	303,728	37,540	0,574	2,043	0,904	0,0011
Anual	46	4.577,487	1.732,001	37,837	0,940	2,880	0,892	0,0004

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de assimetria variaram de 0,462 a 1,123, todos positivos, indicando que as distribuições são assimétricas à direita. Isso significa que há maior concentração de dados em valores mais baixos, com poucos valores altos alongando a cauda da distribuição. A curtose apresentou valores entre 2,043 e 3,641, próximos ao valor de referência da normalidade (3). Distribuições com curtose acima de 3 são

classificadas como leptocúrticas, ou seja, mais pontudas e com maior concentração de valores em torno da média. Já aquelas com curtose abaixo de 3 são platicúrticas, com formato mais achatado e dados mais dispersos (BORGUEZAN, 2018). No geral, as distribuições analisadas mostraram curtose próxima da mesocúrtica, indicando que não há grande concentração nem dispersão excessiva dos valores.

Os resultados do teste de Shapiro–Wilk mostraram valores de W entre 0,882 e 0,959, com níveis de significância (p) variando de 0,0002 a 0,1080. Apenas uma das distribuições ($p = 0,1080$) apresentou aderência à normalidade ($p > 0,05$). As demais rejeitaram a hipótese de normalidade ($p < 0,05$), confirmando que a maioria das variáveis não segue uma distribuição normal. A Figura 27 apresenta os gráficos de normalidade trimestral e anual. Lopes et al. (2013) não encontraram normalidade nos dados de erosividade avaliados para o estado da Bahia, os autores descrevem que a não normalidade pode estar atribuída a elevada amplitude dos dados e ao CV (59,59 %), sendo que, no presente estudo, a série que apresentou normalidade teve o menor CV (35,477 %).

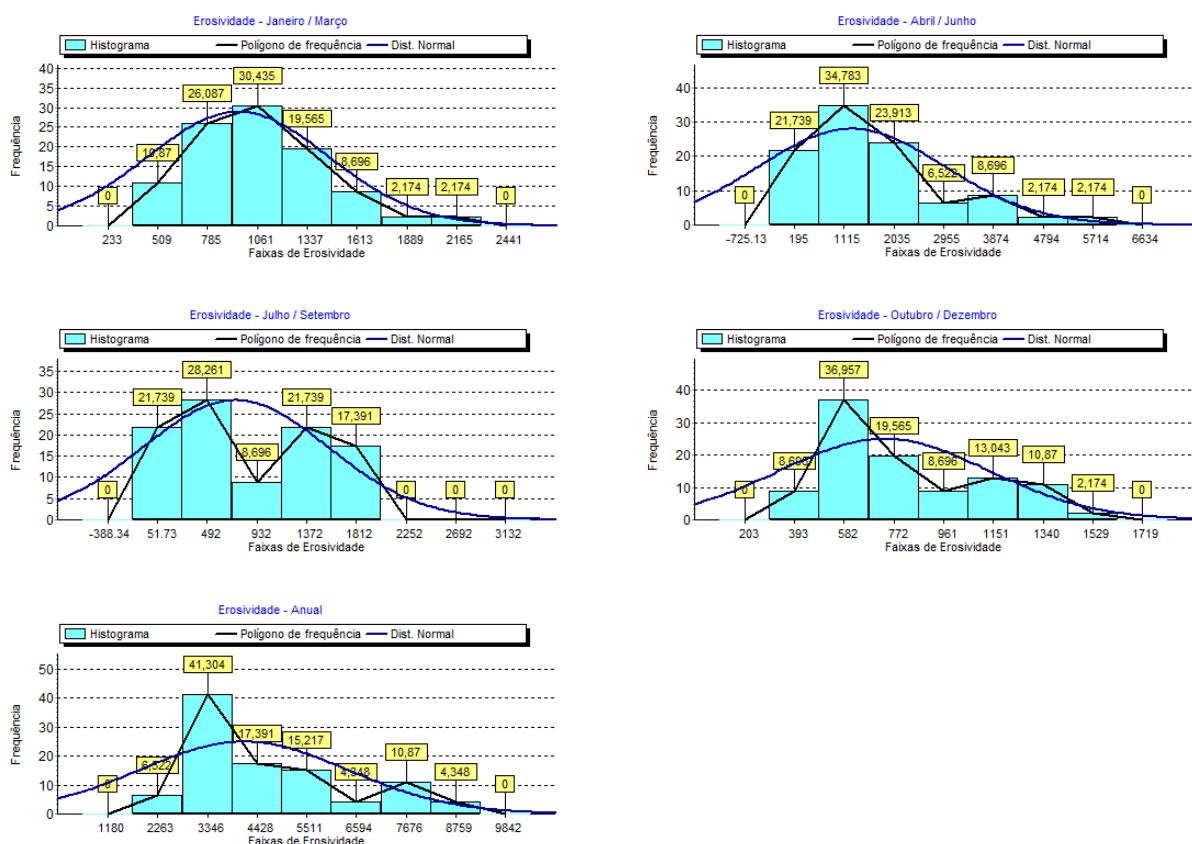


Figura 27. Análise de normalidade da erosividade trimestral e anual dos Municípios selecionados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise geoestatística realizada ao longo dos diferentes períodos do ano (Tabela 15) revelou variações importantes na estrutura espacial do fenômeno estudado. Considerando o índice de dependência espacial (I), observou-se que todos os períodos apresentaram valores elevados (entre 0,68 e 0,82), com $p\text{-value} \leq 0,001$, indicando dependência espacial estatisticamente significativa. Dessa forma, a utilização de métodos de interpolação como a krigagem mostrou-se adequada para representar a variabilidade espacial dos dados. Os valores de dependência espacial (NE) foram: 8,55% no período de janeiro a março; 4,18% de abril a junho; 10,88% de julho a setembro; 1,34% de outubro a dezembro; e 5,34% na análise anual, segundo Cambardella *et al.* (1994) os NE demonstraram alta dependência espacial $NE < 25,00 \%$.

Tabela 15. Parâmetros encontrados através da krigagem Ordinária para a Erosividade ($\text{MJ.mm.ano.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$)

Período	I (P.Val ue: 0,001)	Modelo	Parâmetros						Validação Cruzada	
			C0	C1	C0 + C1	NE (%)	A (m)	R ²	R ²	RMSE
Jan-Mar	0,69	Gaussian	12145,28	129792,45	141937,73	8,557	145627,24	0,83	0,41	275,54
Abr-Jun	0,79	Spherical	46814,38	1072046,80	1118861,18	4,184	110568,47	0,93	0,82	491,79
Jul-Set	0,76	Gaussian	39536,29	323630,01	363166,29	10,887	145445,35	0,95	0,86	210,40
Out-Dez	0,82	Gaussian	1258,25	92095,80	93354,05	1,348	146972,92	0,76	0,64	184,48
Anual	0,76	Gaussian	144180,20	2552877,73	2697057,93	5,346	75559,96	0,91	0,86	643,91

Fonte: Elaborado pelo autor.

No primeiro trimestre (jan-mar), o modelo Gaussian apresentou melhor ajuste, com efeito pepita (C_0) de 12.145,27 e contribuição estrutural (C_1) de 129.792,45, totalizando 141.937,72. O semivariograma ajustado obteve $R^2 = 0,82$, refletindo boa aderência do modelo. A validação cruzada apresentou R^2 de 0,40 e RMSE de 275,54, indicando desempenho preditivo moderado. Entre abril e junho, houve melhor ajuste com o modelo Spherical, que apresentou C_0 de 46.814,37, C_1 de 1.072.046,79 e semivariância total de 1.118.861,17. O R^2 do semivariograma foi de 0,92, caracterizando excelente ajuste. Na validação cruzada, observou-se R^2 de 0,82 e RMSE de 491,79, demonstrando elevada capacidade preditiva para esse período. No trimestre jul-set, o modelo Gaussian novamente apresentou melhores resultados, com C_0 de 39.536,28 e C_1 de 323.630,00, totalizando 363.166,29. O R^2 do semivariograma atingiu 0,94, o maior entre todos os períodos sazonais. A validação cruzada também apresentou desempenho expressivo, com R^2 de 0,86 e RMSE de 210,40, indicando excelente precisão na estimativa espacial. Para o período de out-dez, o modelo Gaussian ajustou-se adequadamente, com C_0 de 1.258,24 e C_1 de 92.095,79,

totalizando 93.354,04. O R^2 do semivariograma foi de 0,76. Embora o ajuste estrutural tenha sido forte, a validação cruzada apresentou R^2 de 0,63 e RMSE de 184,47, revelando boa precisão, porém inferior ao trimestre anterior. Na análise anual, o modelo Gaussian se destacou com os maiores valores estruturais: C_0 de 144.180,19, C_1 de 2.552.877,73 e semivariância total de 2.697.057,93. O R^2 do semivariograma foi de 0,91, confirmando excelente desempenho do modelo ajustado. A validação cruzada, com R^2 de 0,85 e RMSE de 643,90, reforça a eficiência do ajuste mesmo considerando a maior variabilidade temporal agregada.

Em síntese, todos os períodos apresentaram forte dependência espacial, refletida tanto pelos altos valores de NE quanto pelos elevados R^2 dos semivariogramas. Observou-se predominância do modelo Gaussian ao longo do ano, exceto no segundo trimestre. Os resultados de validação cruzada demonstraram que os períodos abr-jun e jul-set apresentaram os melhores desempenhos preditivos; possivelmente impactando no desempenho anual.

O trabalho realizado por Almeida et al. (2017) avaliando a erosividade no semiárido brasileiro, observaram que o modelo esférico foi predominante, ajustando-se aos dados de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e ao conjunto total, enquanto os modelos exponencial e gaussiano foram selecionados em outubro e nos meses de novembro e dezembro, respectivamente, a dependência espacial observada ao longo do ano mostrou que a estrutura de continuidade dos dados não é constante entre os meses. Nos períodos em que o modelo esférico predominou, verificou-se uma organização espacial mais definida, à nos meses em que foram ajustados modelos exponencial e gaussiano, a estrutura espacial apresentou comportamento distinto, indicando alterações na forma como os valores se distribuem no espaço. Os resultados evidenciam que a intensidade da dependência espacial variou entre fraca e moderada ao longo do ano. O melhor ajuste dos modelos e a elevada dependência espacial no presente estudo pode estar relacionada a influência do clima Tropical do Nordeste Oriental, sendo as precipitações altamente concentradas entre Abril e Setembro; esse intervalo apresentou melhor ajuste na validação cruzada.

O comportamento das erosividades na área de estudo (Figura 28) mostra variação trimestral com proximidade para os trimestres Jan-Mar / Out-Dez e Abr-Jun / Jul-Set. Os intervalos observados nas erosividades foram 1.347,01-1.214,06 (Jan-Mar), 1.488,32-1.250,34 (Abr-Jun), 1.287,07-1.046,40 (Jul-Set), 1.001,73-797,10 (Out-Dez)

e 5.207,78-4.257,62 (Anual) MJ.mm.ano.ha⁻¹.h⁻¹. Observa-se que o 2º trimestre obteve os maiores valores de erosividade e o 4º trimestre os menores. As classes de erosividade encontradas são observadas na Figura 29. Conforme a classificação utilizada por Silva et al. (2022b), todos os trimestres apresentaram 100 % da área como baixa erosividade, já para a erosividade anual 81,06 % da área está classificada como baixa erosividade e 18,94 % como média erosividade (Tabela 16). A variação trimestral pode estar relacionada a influência dos dois tipos climáticos predominantes que apresentam estações de chuvas diferentes, o mapa anual apresenta características intermediárias entre os trimestres. Almeida et al. (2017) estudando o potencial erosivo do semiárido brasileiro, ao analisar os valores anuais do EI30, observou-se variação entre 1.757,00 e 4.870,00 MJ.mm.ano.ha⁻¹.h⁻¹, o que possibilitou classificar a região semiárida como de baixo potencial erosivo, os maiores valores nesse estudo podem estar vinculados às maiores precipitações encontradas no clima Tropical do Nordeste Oriental localizada nas áreas litorâneas da Bahia, nesse sentido, esse tipo climático exerce grande influência na área de estudo.

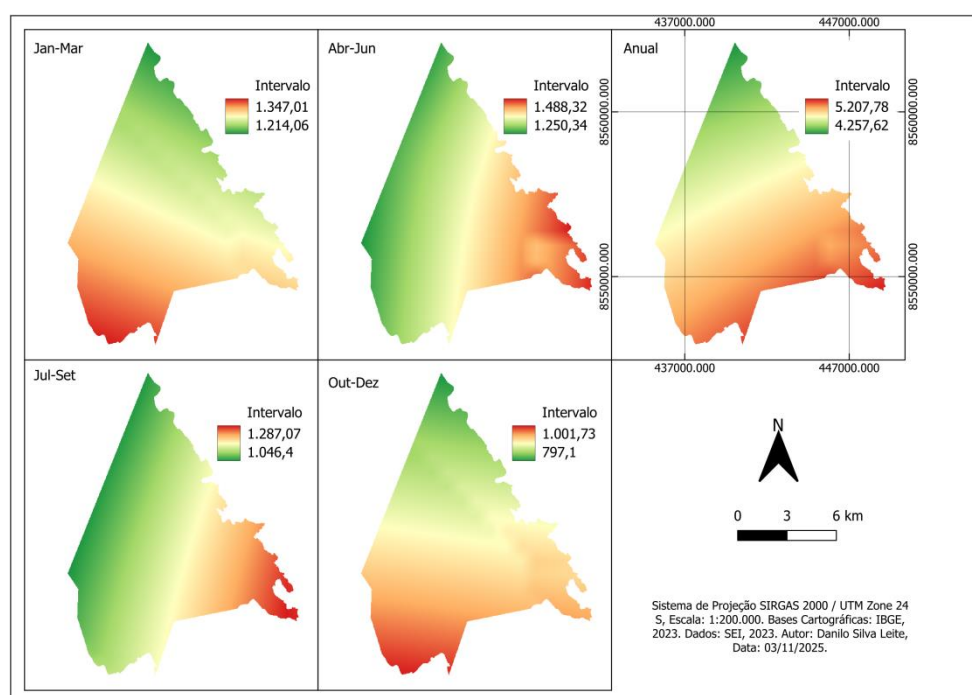


Figura 28. Variação da Erosividade (MJ.mm.ano.ha⁻¹.h⁻¹) trimestral e anual para a área estudada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

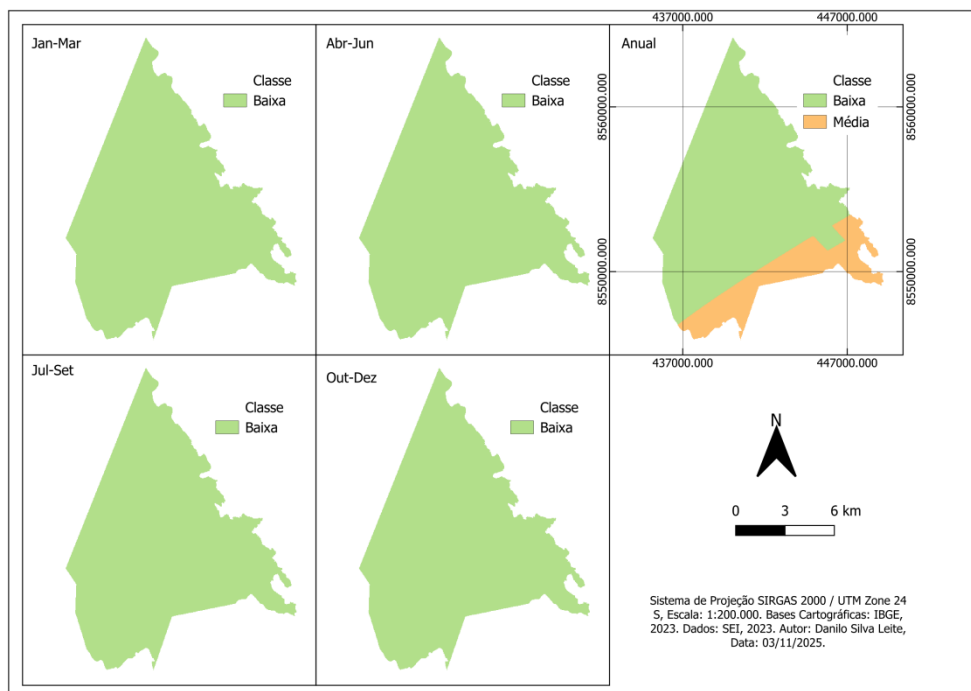


Figura 29. Classes de Erosividade encontradas na área de estudo com ajustes trimestrais baseados nos valores mensais da Tabela 01.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 16. Classes de Erosividade Anual e suas áreas

Classes	Área (ha)	%
Baixa	9.906,57	81,06
Média	2.314,44	18,94
Total	12.221,01	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Erodibilidade (K)

Os dados utilizados para obtenção da erodibilidade apresentaram Índice de Moran (I) de 0,117 com P.Value de 0,231. Com valores superiores a 0,05 o P.Value não foi significativo, ou seja, os dados não apresentaram dependência espacial, sendo interpolados utilizando o IDW. A Figura 30 apresenta a erodibilidade na área de estudo. Observa-se variação entre 0,0247 e 0,0395 t.ha.h (ha.MJ.mm)⁻¹ sendo classificada como moderada em 100 % da área (FREIRES et al., 2023). O principal grande grupo da área de estudo é Latossolo Amarelo Distrófico,. Utilizando a mesma equação de Bouyoucos, Mannigel et al. (2002) avaliaram a erodibilidade para os solos de São Paulo e encontraram o valor 0,0570 para esse tipo de solo, sendo o valor máximo da área de estudo acima do encontrado pelos pesquisadores. Os mesmos autores afirmam que a metodologia de Bouyoucos mostrou limitações na estimativa da

erodibilidade em solos de textura muito extrema, seja altamente arenosa ou muito argilosa. Em solos com grande predominância de areia e silte (acima de 840 g kg⁻¹), os valores do fator K tendem a ficar superestimados. Já em condições de elevada concentração de argila (superior a 840 g kg⁻¹), a estimativa do fator K passa a se aproximar de zero. Dessa forma, a área em estudo não apresentou valores extremos de erodibilidade indicando que os dados utilizados não demonstraram texturas extremas. Além disso, os valores baixos de silte (média de 7,65 %) podem inferir em solos com relativa resistência a erosão. Os baixos valores de silte podem ser visualizados através das médias obtidas para as diferentes granulometrias observadas nas análises físicas de 0-20 cm utilizadas (anexo 2) sendo: 670,87 g Kg⁻¹ Areia Total, 76,52 g Kg⁻¹ Silte e 253,68 g Kg⁻¹ Argila (Franco Argilo Arenosa a classe textural). Os valores de densidade, obtidos através do modelo de Barros e Fearnside (2015), para as amostras utilizadas mostram média de 0,82 Kg dm³ (anexo 2).

Os dados obtidos por Oliveira (2003) em Latossolo Amarelo nos perfis P3 e P6 (Microbacia Hidrográfica do Riacho Trapiá/Jacutinga no Recôncavo Sul) descrevem a classe textural Franco Argilo Arenoso para camada de 0-30 cm em P3 e Argila-Arenosa para a camada de 0-11 cm em P6. Além disso, nos dois perfis foram descritos erosão do tipo laminar. O trabalho de Santana (2002), que descreve um perfil no limite da área de estudo, encontrou classe textural Argila-Arenosa e erosão laminar ligeira. Nesse sentido, as camadas superficiais dos trabalhos descritos mostraram classes texturais iguais ou com leve aumento do teor de argila em relação a área de estudo.

Segundo a Coelho *et al.* (2024) o LAd da área de estudo possui erodibilidade baixa com valor de 0,0108 t.ha.h (ha.MJ.mm)⁻¹, nesse sentido, os valores obtidos divergiram, onde toda a área avaliada apresentou erodibilidade moderada.

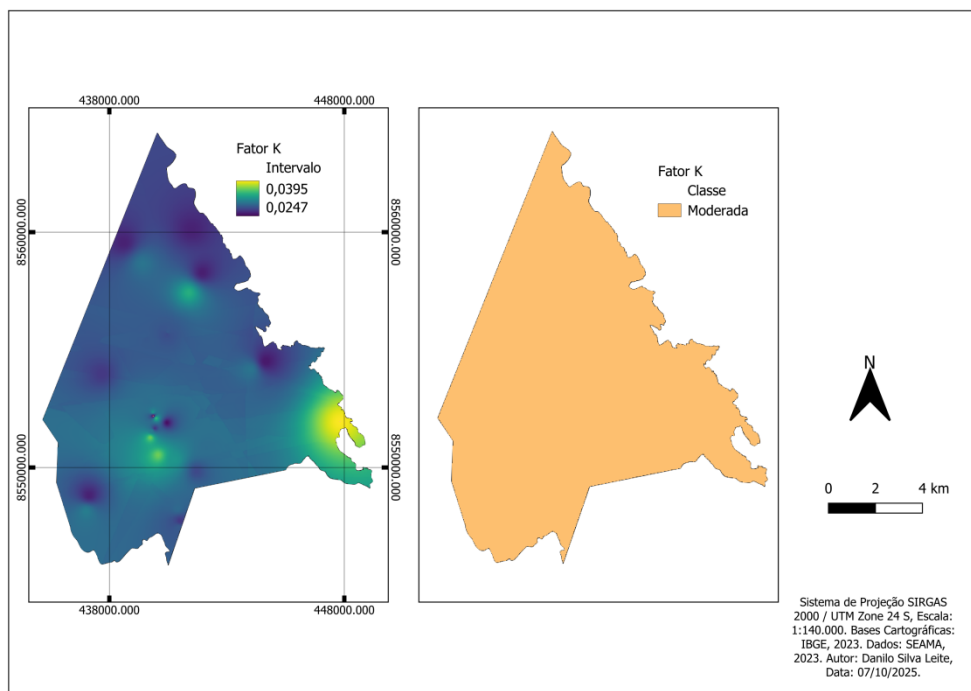


Figura 30. Variação da Erodibilidade $t.ha.h (ha.MJ.mm)^{-1}$ e Classes encontradas na área estudada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Fator Topográfico (LS)

A Figura 31 apresenta a variação do fator topográfico na área de estudo, utilizando a classificação adotada por Bertoni e Lombardi Neto (2010). Observa-se na Tabela 17 que as classes Moderada, Alta e Muito Alta ocupam a maior parte da área de estudo somando 74,56 %. Esses dados mostram a importância do fator LS para o potencial erosivo do município. Uema et al. (2023), avaliando a perda de solo em bacias hidrográficas de diferentes escalas através da EUPS no noroeste do Paraná, observaram que cerca de 46,50 % da área se encontrava na classe Muito Baixa (0-1) e 97,10 % entre as classes Muito Baixa, Baixa e Moderada (0-5), comparativamente, observamos o impacto do fator LS na área estudada. O trabalho de Santos (2011) na Região do Timbó corrobora com o elevado potencial erosivo relacionado ao Fator LS, encontrado na área de estudo. O autor relaciona a topografia do LAd às paisagens de vale fundo (declive 20 a 100 %), tabuleiro (declive 45 a 75 %) e chapada (declive 0 a 8 %). As paisagens de vale fundo e tabuleiro apresentam elevadas declividades e podem estar vinculadas ao Fator LS nas classes mais altas.

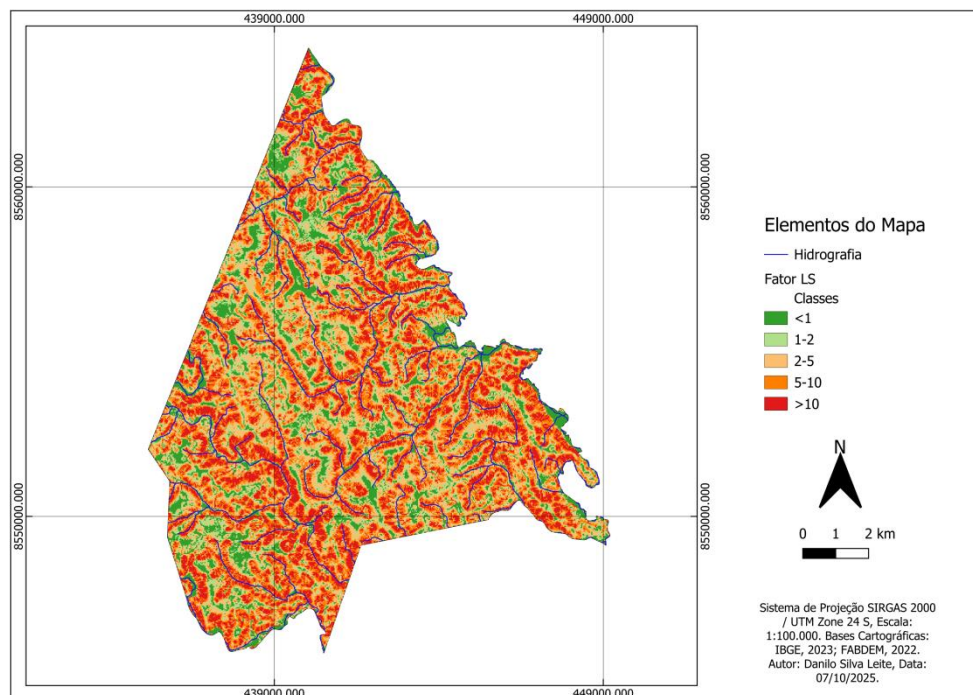


Figura 31. Variação do Fator LS na área estudada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 17. Classes, área e porcentagem de ocupação Fator LS

LS	Classes	Área (ha)	%
< 1	Muito Baixa	1.700,12	13,91
1 - 2	Baixa	1.409,36	11,53
2 - 5	Moderada	3.193,05	26,13
5 - 10	Alta	3.149,92	25,78
> 10	Muito Alta	2.768,07	22,65
Total		12.220,52	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Cobertura Vegetal, Uso da Terra e Práticas Conservacionistas (CP)

A variação do uso do solo ao longo dos trimestres e o uso anual em 2023 podem ser visualizados na Figura 32, e as Tabelas 18 e 19 os valores quantitativos de área e qualidade da classificação supervisionada são apresentados. Observa-se que todas as séries temporais apresentaram KAPPA e Acurácia Geral acima de 0,98 indicando alta qualidade da classificação supervisionada na obtenção dos usos e ocupação do solo. O índice KAPPA entre 0,81 e 1,0 é considerado Excelente (ADAMI *et al.*, 2002).

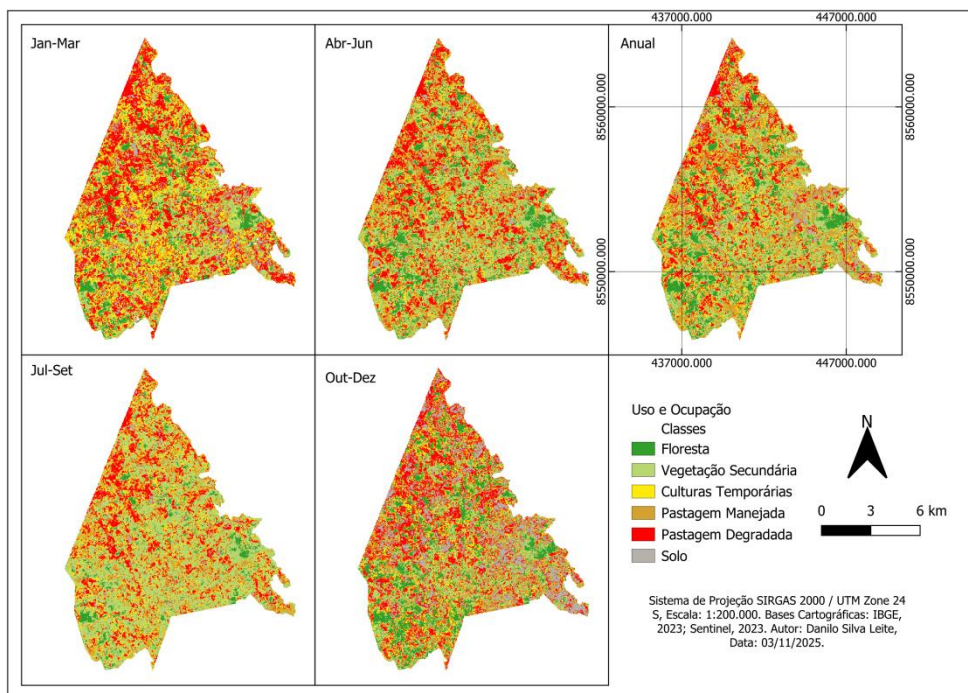


Figura 32. Variação do Uso e Ocupação do Solo nas séries temporais avaliadas e legenda adaptada de IBGE (2013).
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 18. Áreas relacionadas às classes de uso e ocupação do solo e as qualidades de classificação na Região Sudeste de Amargosa para o ano de 2023

Período	Uso e Ocupação (ha)						Total	KAPPA	Acurácia
	Floresta	Solo Exposto	Vegetação Secundária	Pastagem Manejada	Pastagem Degradada	Culturas Temporárias			
Jan-Mar	882,80	380,50	2.377,00	697,20	3.743,00	4.149,00	12.229,50	0,9851	0,9887
Abr-Jun	849,50	123,90	4.094,60	1.988,40	2.638,20	2.534,70	12.229,30	0,9936	0,9952
Jul-Set	326,80	119,80	5.431,80	1.381,60	2.276,80	2.692,60	12.229,40	0,9904	0,9925
Out-Dez	1.314,90	1.158,90	2.856,20	1.219,00	3.529,60	2.150,70	12.229,30	0,9825	0,9865
Anual	1.055,30	287,60	4.095,90	1.990,30	2.218,20	2.581,90	12.229,20	0,9821	0,9863

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 19. Porcentagens relacionadas às classes de uso e ocupação do solo

Período	Uso e Ocupação (%)						Total
	Floresta	Solo Exposto	Vegetação Secundária	Pastagem Manejada	Pastagem Degradada	Culturas Temporárias	
Jan-Mar	7,22	3,11	19,44	5,70	30,61	33,93	100,00
Abr-Jun	6,95	1,01	33,48	16,26	21,57	20,73	100,00
Jul-Set	2,67	0,98	44,42	11,30	18,62	22,02	100,00
Out-Dez	10,75	9,48	23,36	9,97	28,86	17,59	100,00
Anual	8,63	2,35	33,49	16,27	18,14	21,11	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise temporal do uso e ocupação do solo evidencia variações marcantes entre os diferentes períodos do ano. No primeiro trimestre (jan–mar), observa-se predominância de culturas temporárias (33,93%) e pastagem degradada (30,61%), enquanto a cobertura florestal representa 7,23%. No período de abr–jun, há aumento expressivo da vegetação secundária (33,48%) e da pastagem manejada (16,26%), acompanhado de redução do solo exposto (1,01%). Entre jul–set, a vegetação secundária atinge seu maior percentual (44,42%), contrastando com o menor valor de cobertura florestal (2,67%) no ano. Já no último trimestre (out–dez), verifica-se incremento simultâneo da floresta (10,75%) e do solo exposto (9,48%), além de proporções elevadas de pastagem degradada (28,86%).

Considerando o período anual consolidado, a vegetação secundária aparece como a classe dominante (33,49%), seguida pelas culturas temporárias (21,11%) e pela pastagem manejada (16,27%), indicando tendência de regeneração ambiental concomitante ao uso agropecuário da paisagem. Essas variações ao longo do ano mostram mudanças no vigor da vegetação que interfere na exposição do solo e na sensibilidade da classificação supervisionada ao vigor vegetativo apresentado como descrito por Cechim Junior *et al.* (2023). No primeiro trimestre práticas agrícolas tradicionais como o plantio de milho e amendoim (cultura tradicional nos festejos juninos) expõe o solo podendo ser a causa da maior porcentagem de área com culturas temporárias, além do segundo maior valor de solo exposto no ano com possibilidade de relação ao preparo de solo com arado e gradagem. No segundo trimestre o aumento da vegetação secundária e pastagem manejada pode estar relacionada ao aumento do vigor da vegetação relacionada a consolidação do período de chuvas para o clima Tropical do Nordeste Oriental. O ganho de vigor pode estar relacionado no terceiro trimestre com a vegetação secundária e práticas agrícolas como adubação em áreas de cacau que possuem elevada área de cobertura do solo; chegando a 100 %, esse ganho de vigor pode reduzir a classificação de áreas de floresta com adição dessas em áreas de vegetação secundária. O último trimestre foi marcado pelo aumento do solo exposto e pastagem degradada, a redução das precipitações nesse trimestre pode levar a redução do vigor da vegetação com exposição de solo e o uso intensivo das pastagens com baixa capacidade de renovação, o que leva ao aumento das áreas degradadas com baixa capacidade de resiliência aos processos erosivos.

A variação anual do uso e ocupação do solo está representada na Figura 33, e mostra a predominância das áreas com vegetação secundária e culturas temporárias, a primeiro (vegetação secundária) pode ter relação com regeneração natural das áreas desmatadas e o aumento das áreas com produção de cacau (alto vigor vegetativo) e banana (sombreamento provisório na cultura do cacau), já a segundo (culturas temporárias), pode ser explicado através da cultura da mandioca e culturas tradicionais (milho, amendoim entre outras).

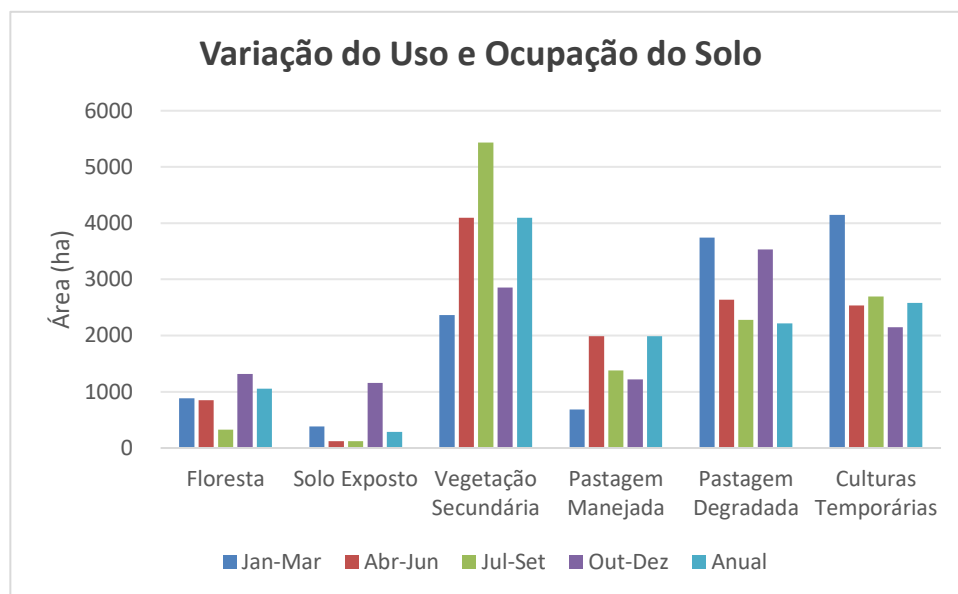


Figura 33. Variação anual (2023) das áreas de Uso e Ocupação do Solo por trimestre e anualmente.
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão (PNE) pode ser verificado na Figura 34, sendo observado baixa variação ao longo dos trimestres; apesar da leve queda no último trimestre relacionado a redução das precipitações.

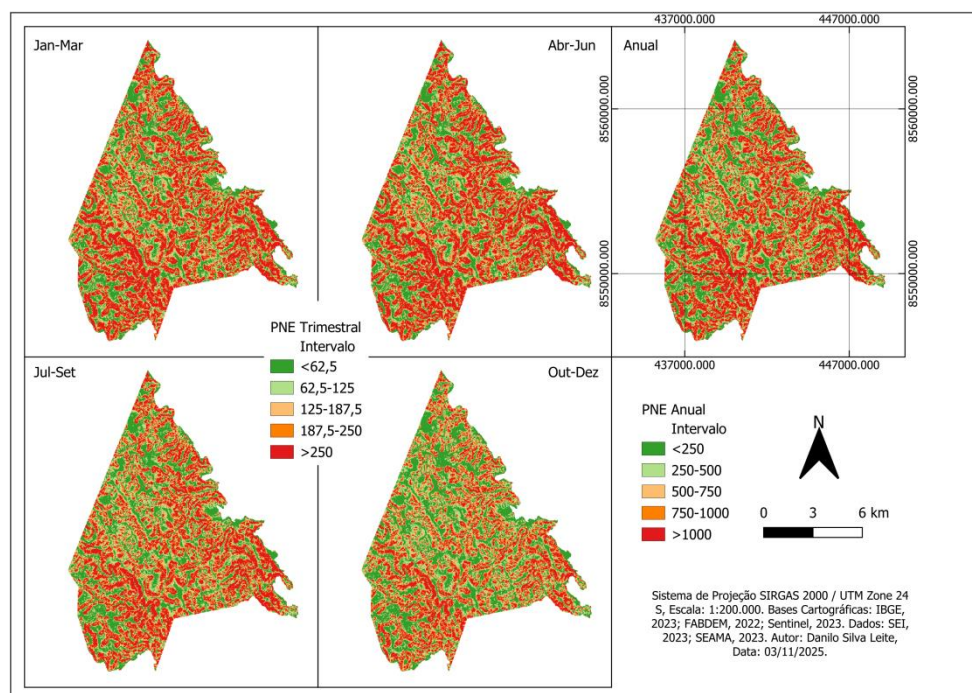


Figura 34. Variação do PNE ($\text{t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) ao longo das séries temporais estudadas com ajustes trimestrais baseados nos valores anuais da Tabela 05
Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da distribuição percentual entre classes revela que, ao longo dos trimestres, as faixas de maior magnitude ($>250,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) mantêm predominância expressiva, variando entre 24,59% e 39,46%, o que indica persistência de condições intensas no PNE ao longo do ano. As classes intermediárias, situadas entre 62,5 e 250,0 $\text{t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, apresentam flutuações discretas, permanecendo relativamente estáveis entre 10% e 20%, sugerindo baixa sensibilidade sazonal. Observa-se, contudo, crescimento progressivo da classe de menor valor ($< 62,5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) ao final do ano, atingindo 29,66% no trimestre out-dez, o que aponta para um abrandamento das condições mais severas nesta estação. No consolidado anual, o padrão mantém-se com 35,16% da área situada na classe mais elevada ($> 1000,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), enquanto apenas 23,48% se encontra abaixo de 250,0 $\text{t.ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

Nesse sentido, utilizando a classificação adotada por Miqueloni *et al.* (2015), a classe Muito Alta apresentou maior área de representatividade. Esses resultados evidenciam que, apesar de variações trimestrais, a dinâmica do indicador é marcada pela predominância de valores elevados e por baixa sazonalidade estrutural (Tabelas 20 e 21). Fiorese (2021) analisando o PNE em uma sub-bacia hidrográfica do córrego da Vista Alegre, no município de Muniz Freire (ES) observou que o elevado PNE está relacionado, sobretudo, às variações do relevo (como a acentuada inclinação do terreno) aliadas aos elevados volumes de precipitação.

Na área estudada, o elevado PNE está relacionado, principalmente, ao Fator Topográfico (LS). A variabilidade espacial do PNE corrobora com esta afirmação uma vez que a Erosividade e a Erodibilidade foram bastante homogêneas na área. A Erosividade foi classificada como baixa, e média apenas em área restrita ao extremo sul, e a erodibilidade foi moderada em toda a área. As Figuras 35 e 36 mostram o resumo das variações sazonais e variação anual.

Tabela 20. Classes de PNE ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) e suas respectivas áreas (ha) de ocupação

Período	Classes Trimestral					Total
	< 62,5	62,5 - 125,0	125,0 - 187,5	187,5 - 250,0	> 250,0	
Jan-Mar	2.693,43	2.043,72	1.608,48	1.259,64	4.567,32	12.172,59
Abr-Jun	2.586,69	1.976,85	1.568,16	1.238,13	4.802,76	12.172,59
Jul-Set	3.013,40	2.199,71	1.677,92	1.278,97	4.002,59	12.172,59
Out-Dez	3.609,90	2.477,61	1.768,41	1.323,18	2.993,49	12.172,59
Anual	Classes Anual					Total
	< 250,0	250,0 - 500,0	500,0 - 750,0	750,0 - 1000,0	> 1000,0	
Anual	2.857,95	2.131,11	1.638,99	1.264,14	4.280,40	12.172,59

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 21. Classes de PNE ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) e suas respectivas porcentagens de ocupação

Período	Classes Trimestral					Total
	< 62,5	62,5 - 125,0	125,0 - 187,5	187,5 - 250,0	> 250,0	
Jan-Mar	22,13	16,79	13,21	10,35	37,52	100,00
Abr-Jun	21,25	16,24	12,88	10,17	39,46	100,00
Jul-Set	24,76	18,07	13,78	10,51	32,88	100,00
Out-Dez	29,66	20,35	14,53	10,87	24,59	100,00
Anual	Classes Anual					Total
	< 250,0	250,0 - 500,0	500,0 - 750,0	750,0 - 1000,0	> 1000,0	
Anual	23,48	17,51	13,46	10,39	35,16	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

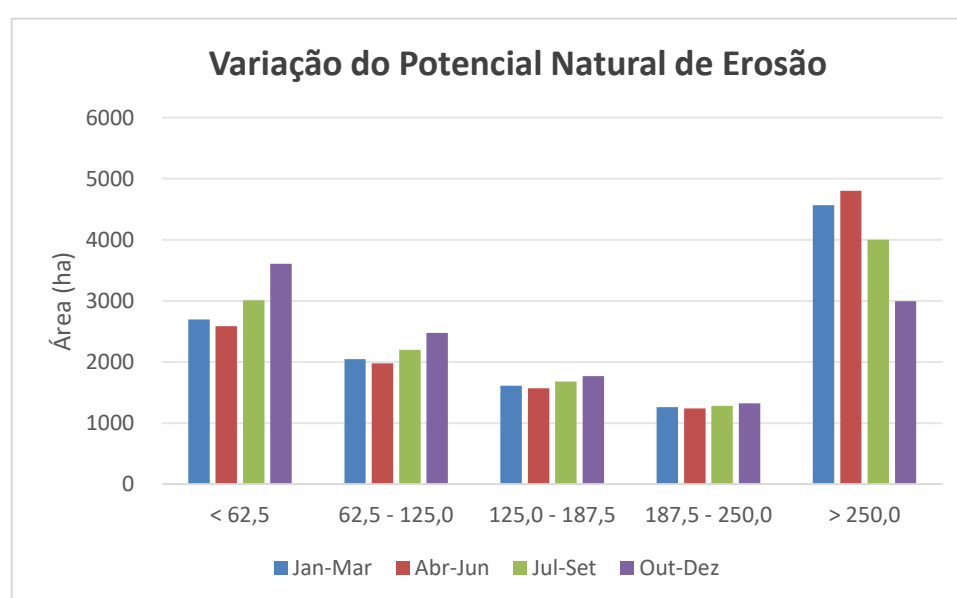


Figura 35. Variação das áreas relacionadas as classes de PNE dentro das séries temporais avaliadas.
Fonte: Elaborado pelo autor.

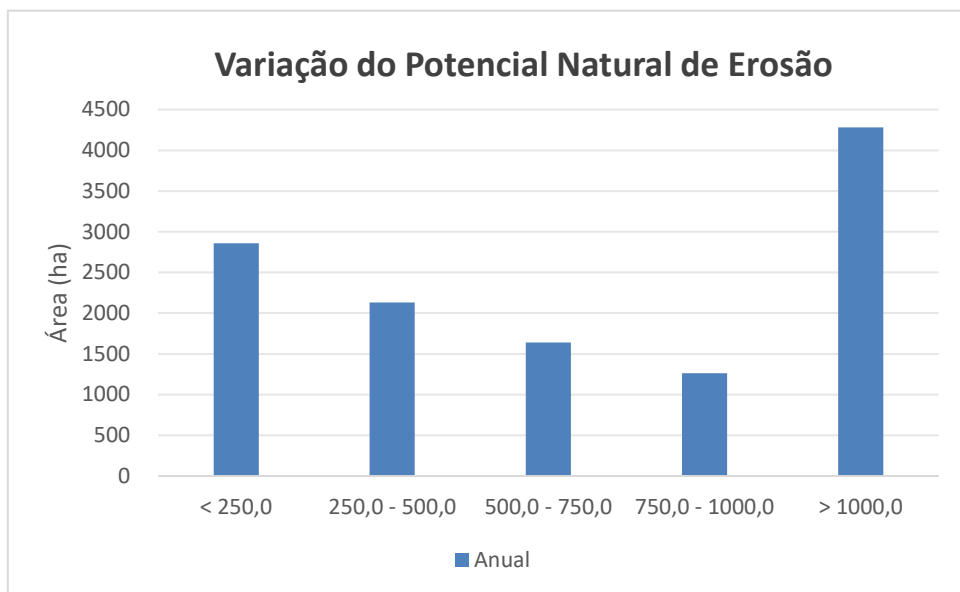


Figura 36. Variação anual das áreas relacionadas as classes de PNE.
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 Perda de Solo (A)

O potencial de Perda de Solo (A) apresentou alta variação ao longo dos trimestres, diferente do PNE, indicando elevada influência do uso e manejo do solo na erosão laminar (Figura 37).

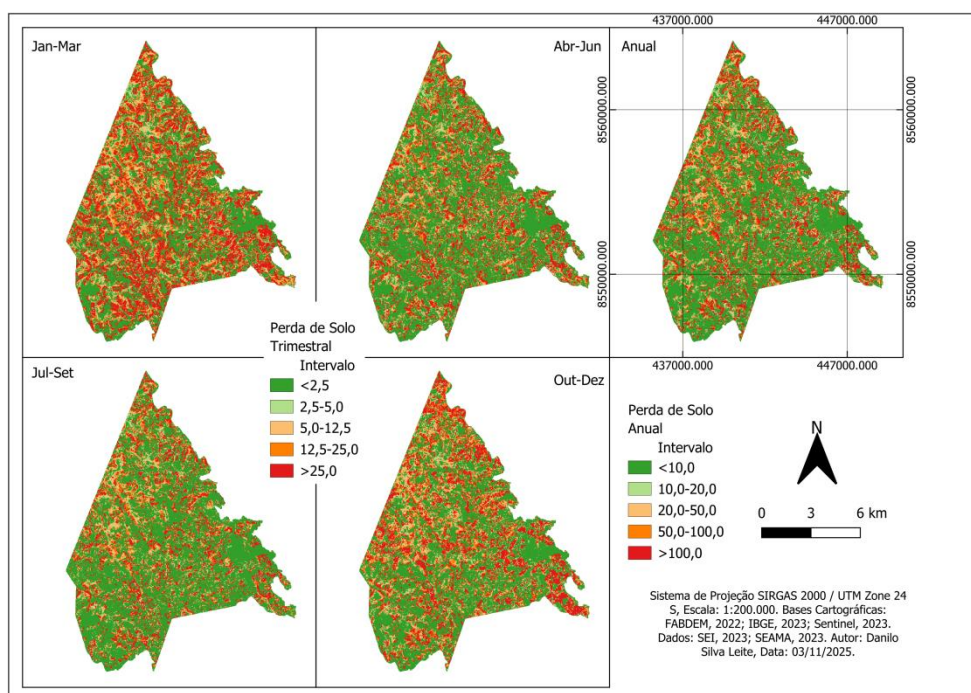


Figura 37. Variação do Perda de Solo ($t.ha^{-1} ano^{-1}$) ao longo das séries temporais estudadas com ajustes trimestrais baseados nos valores anuais da Tabela 05
Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição em porcentagem de ocupação das perdas trimestrais mostra que, no primeiro trimestre (jan-mar), cerca de 40% dos valores se concentram na classe mais baixa ($<2,5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto as demais categorias apresentam proporções menores, variando de aproximadamente 5% (classe de perda $2,5-5,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) a 31% (classe de perda $>25,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). No período de abril a junho, observa-se um aumento expressivo na classe $<2,5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que sobe para cerca de 57% refletindo em menor impacto do potencial erosivo, com as demais faixas mantendo participações entre 6% (classe de perda $2,5-5,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e 20% (classe de perda $>25,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Entre julho e setembro, essa mesma classe permanece predominante, atingindo mais de 60% ($<2,5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto as demais categorias continuam com valores próximos aos do trimestre anterior. No último trimestre (out-dez), a classe $<2,5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ diminui para aproximadamente 49%, e as demais faixas variam entre 6% (classe de perda $2,5-5,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e 24% (classe de perda $>25,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), indicando uma distribuição um pouco mais equilibrada. Na avaliação anual, verifica-se que cerca de 58% das ocorrências estão concentradas na classe $<10 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto as demais categorias apresentam percentuais entre 6% (classe de perda $2,5-5,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e 19% (classe de perda $>25,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), revelando uma predominância marcante das classes de menor magnitude ao longo do ano (Tabelas 22 e 23).

Tabela 22. Classes de Perda de Solo ($\text{t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e suas respectivas áreas de ocupação

Período	Classes Trimestral					Total
	$< 2,5$	$2,5 - 5,0$	$5,0 - 12,5$	$12,5 - 25,0$	$> 25,0$	
Jan-Mar	4.960,71	646,83	1.346,40	1.521,36	3.744,99	12.220,29
Abr-Jun	7.018,79	726,13	1.036,11	1.056,71	2.382,55	12.220,29
Jul-Set	7.415,64	636,75	1.013,85	1.049,22	2.104,83	12.220,29
Out-Dez	5.947,74	755,28	1.312,83	1.238,31	2.966,13	12.220,29
Anual	Classes Anual					Total
	$< 10,0$	$10,0 - 20,0$	$20,0 - 50,0$	$50,0 - 100,0$	$> 100,0$	
Anual	7.112,61	748,80	1.048,32	1.021,23	2.289,33	12.220,29

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 23. Classes de Perda de Solo ($\text{t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e suas respectivas porcentagens de ocupação

Período	Classes Trimestral					Total
	$< 2,5$	$2,5 - 5,0$	$5,0 - 12,5$	$12,5 - 25,0$	$> 25,0$	
Jan-Mar	40,59	5,29	11,02	12,45	30,65	100,00
Abr-Jun	57,44	5,94	8,48	8,65	19,50	100,00
Jul-Set	60,68	5,21	8,30	8,59	17,22	100,00
Out-Dez	48,67	6,18	10,74	10,13	24,27	100,00
Anual	Classes Anual					Total
	$< 10,0$	$10,0 - 20,0$	$20,0 - 50,0$	$50,0 - 100,0$	$> 100,0$	
Anual	58,20	6,13	8,58	8,36	18,73	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizando a classificação de Miqueloni *et al.* (2015), as classes de Perda de

Solo Muito Baixa e Muito Alta predominam em todas as séries temporais, isso pode ser reflexo da geomorfologia encontrada na região com mudanças abruptas nas declividades, saindo de baixa declividade (Tabuleiros) para altas declividades (Encostas), Segundo IBGE (2023) a geomorfologia é marcada por Serras e Maciços Pré-Litorâneos com Vales de Origem Estrutural, Grandes Alvéolos, Rampas de Colúvio/Sopé, Cristas Alinhadas entre outros. Nas Figuras 38 e 39 pode ser visualizadas as áreas concentradas nas classes extremas.

Embora a maior proporção da área de estudo esteja sempre com perdas estimadas $<2,5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para todos os trimestres, em seguida, as “segundas” proporções de áreas mais frequentes de perda apresentam valores estimados superiores à $25 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, então embora entre 40 e 60% da área tenha perdas estimadas com valores $<2,5$, uma proporção significativa, entre 17 a 31% da área apresentou estimativa de perdas >25 isso ao longo dos trimestres, evidenciando o elevado potencial erosivo da área de estudo.

As estimativas de perdas de solo mais severas ($>25 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foram proporcionalmente maiores nos trimestres jan–mar e out-dez (Tabela 23), esses dados revelam que nos trimestres de Jan-Mar e Out-Dez encontram-se maiores proporções em área em classes de maior erosão do solo, sendo a redução do vigor da vegetação e exposição do solo as possíveis causas para o aumento do potencial erosivo. Nesses trimestres observa-se que usos e ocupações relacionados a culturas temporárias e pastagens degradadas apresentam maiores áreas; menor proteção do solo e maior suscetibilidade a erosão. Comparativamente ao trabalho de Santos *et al.* (2021) que 99,71 % da área (bacia do Rio de Janeiro, Oeste da Bahia) se encontrava com perdas entre $0-50 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a área estudada apresenta maior potencial erosivo com 72,91 % da área com perdas de $0-50 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. No entanto, os dados encontrados por Bernal (2016) mostram que 83,00 % da área estudada, relacionada a sub-bacia Paraguaçu (incluindo os rios Jacuípe e Jequiriça), está na classe $0-50 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo esse valor pouco acima do encontrado nesse estudo.

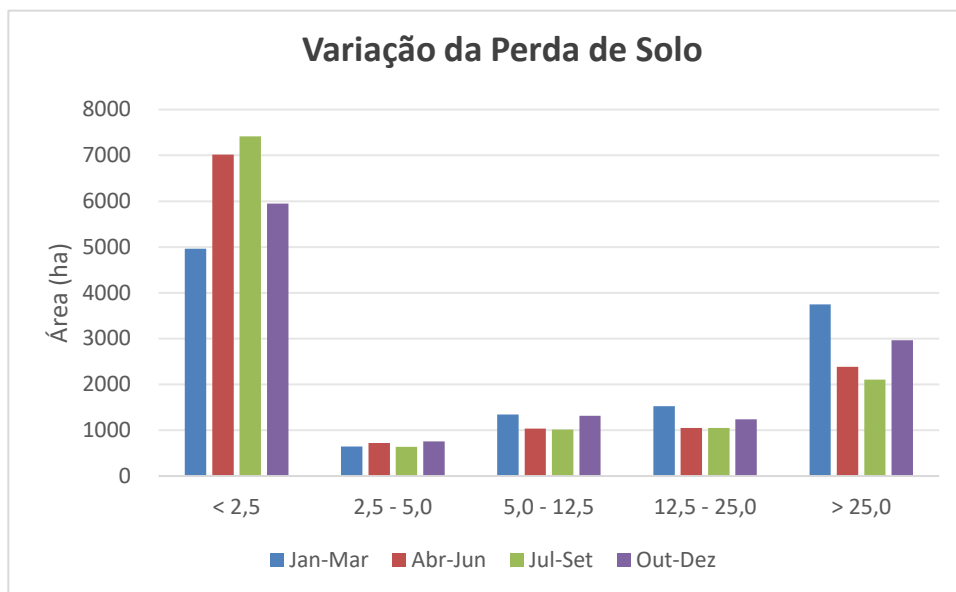


Figura 38. Variação das áreas relacionadas as classes de Perda de Solo dentro das séries temporais avaliadas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

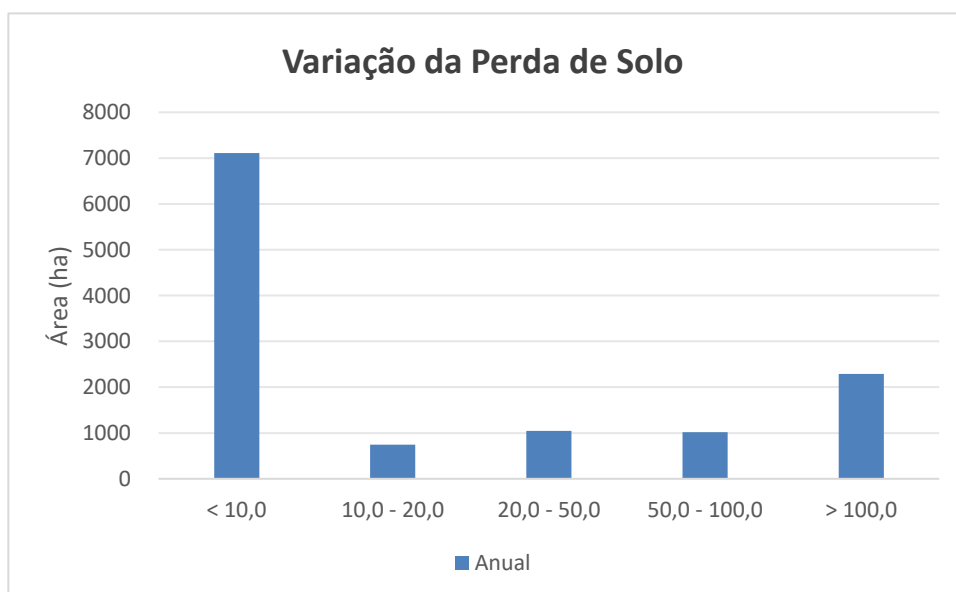


Figura 39. Variação anual das áreas relacionadas as classes de Perda de Solo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 Risco de Erosão (RE)

A variação ao Risco de Erosão (RE) é apresenta na Figura 40, a qual evidencia maiores estimativas nos trimestres de Jan-Mar e Out-Dez. A análise dos dados mostra que o Risco de Erosão (RE) concentra-se principalmente na classe de menor magnitude (<1,0), que predomina em todos os períodos e representa 57,94% do total anual. Isso indica que, na maior parte do ano, o RE permanece baixo. Em contraste,

os valores mais elevados (>10) aparecem como a segunda classe mais frequente, alcançando seu maior percentual no primeiro trimestre (31,38%) e o menor no terceiro trimestre (17,76), evidenciando variações importantes na intensidade do risco ao longo dos períodos. As classes intermediárias (1,0–10,0) apresentam pouca oscilação entre os trimestres, demonstrando um padrão estável de ocorrência.

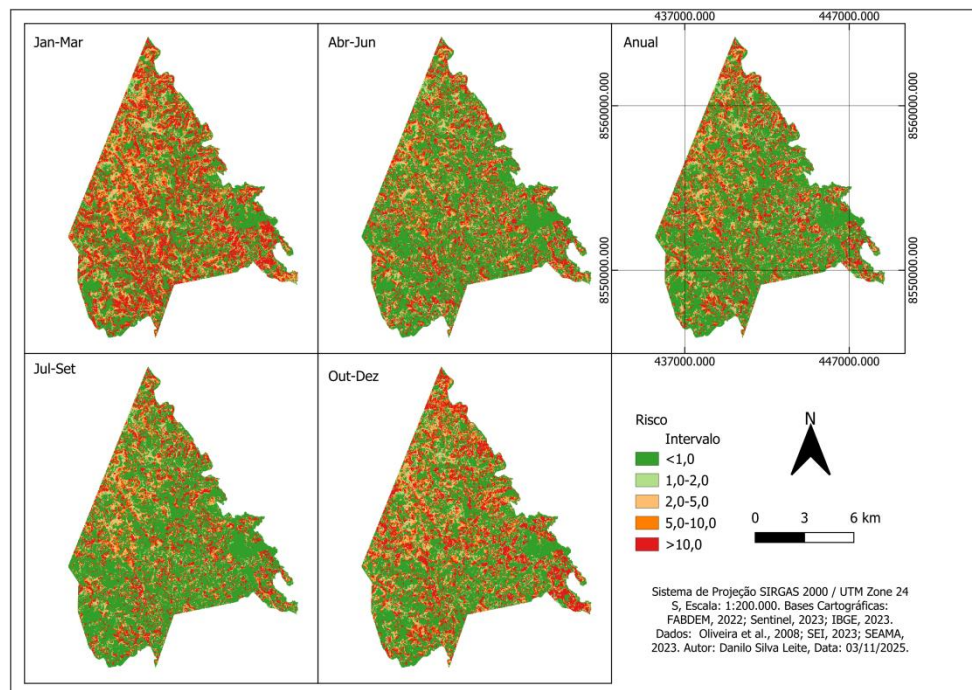


Figura 40. Variação do RE ao longo das séries temporais analisadas com ajustes trimestrais baseados nos valores anuais da Tabela 05.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No geral, embora os níveis altos de RE somem 19,19% do valor anual, sua distribuição diferenciada entre os períodos destaca sua relevância para a compreensão dos momentos em que o risco se intensifica e exige maior atenção (Tabelas 24 e 25). Assim como na Perda de Solo, os aspectos relacionados a variação no uso e manejo do solo ao longo no ano e a geomorfologia podem explicar a variação do RE ao longo do ano e a concentração do mesmo em classes extremas (Figura 41) de acordo com Miqueloni et al. (2015). O valor de tolerância de perda de solo anual e trimestral foi estabelecido do grande grupo de solo dominante na área de estudo, sendo Latossolos Amarelo Distrófico e o valor de referência obtido de acordo com os dados de Mannigel et al. (2008) sendo $12,45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a tolerância encontrado pelos autores, nesse trabalho foi adotado o valor conservador de $9,66 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Tabela 24. Classes de Risco (RE) e suas respectivas áreas de ocupação						
Período	Classes					Total
	< 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 5,0	5,0 - 10,0	> 10,0	
Jan-Mar	4.930,29	633,96	1.322,19	1.497,51	3.833,10	12.217,05
Abr-Jun	6.989,58	714,87	1.032,12	1.021,32	2.459,16	12.217,05
Jul-Set	7.383,06	630,72	998,91	1.034,73	2.169,63	12.217,05
Out-Dez	5.911,11	746,01	1.289,16	1.237,95	3.032,82	12.217,05
Anual	7.077,96	741,87	1.039,41	1.012,77	2.345,04	12.217,05

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 25. Classes de Risco (RE) e suas respectivas porcentagens de ocupação

Período	Classes					Total
	< 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 5,0	5,0 - 10,0	> 10,0	
Jan-Mar	40,36	5,19	10,82	12,26	31,38	100,00
Abr-Jun	57,21	5,85	8,45	8,36	20,13	100,00
Jul-Set	60,43	5,16	8,18	8,47	17,76	100,00
Out-Dez	48,38	6,11	10,55	10,13	24,82	100,00
Anual	57,94	6,07	8,51	8,29	19,19	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

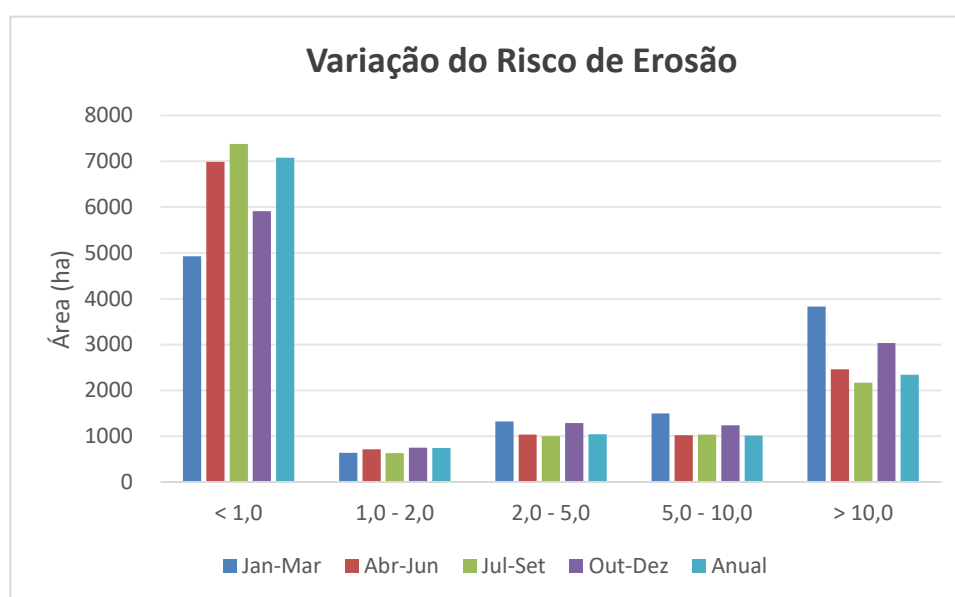


Figura 41. Variação das áreas ocupadas dentro das classes de RE nas séries temporais avaliadas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.8 Uso e Manejo Permissível (CP_p)

O uso e manejo permissível varia pouco ao longo do ano (Figura 42) não permitindo alterações significativas no uso do solo.

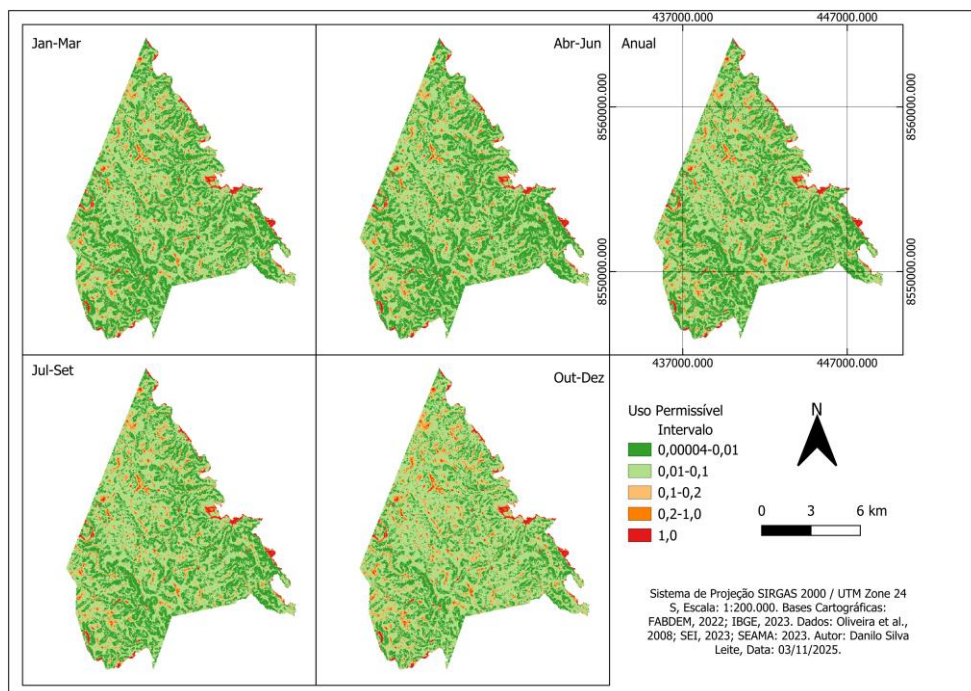


Figura 42. Uso e Manejo Permissível e variação do mesmo ao longo das séries temporais estudadas.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição dos valores do Uso e Manejo Permissível (CPp) mostra forte concentração nas classes de menor magnitude, que representam a maior parte do conjunto de ocorrências ao longo dos períodos analisados. As duas primeiras faixas, 0,00004–0,01 e 0,01–0,1, somam entre 75% e 87% nos trimestres e totalizam 89,66% no resultado anual, com destaque para a classe 0,01–0,1, que é a mais frequente em todos os períodos e atinge 60,98% no último trimestre. As classes intermediárias (0,1–0,2 e 0,2–1,0) apresentam participação reduzida, variando de cerca de 3% a 6%, mantendo comportamento estável ao longo do ano. Já a faixa de maior magnitude ($\geq 1,0$) aparece com valores próximos entre os períodos, sempre entre 2,16% e 2,59%, resultando em 2,26% na média anual (Tabelas 26 e 27). Dessa forma, observa-se que o CPp está fortemente concentrado nas menores classes, enquanto as faixas superiores apresentam baixa representatividade e pouca variação entre os períodos (Figura 43). Seguindo a classificação e atribuição de pesos para o CP de Stein *et al.* (1987), a faixa entre 0,01-0,1 corresponde a usos relacionados a Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno e Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno, respectivamente, sendo essa classe com a maior concentração de área. Pode-se inferir que usos que possibilitem cobertura total ao solo são recomendados, já que, a segunda classe com maior concentração de área corresponde a faixa de 0,00004-0,01 sendo atribuído a Floresta/Vegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno (0,00004), Vegetação de porte alto a médio,

cobertura total do terreno (0,00004) e Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno (0,01).

Nesse sentido, existe forte limitação a usos do solo que aumentem a exposição do mesmo, corroborando com Oliveira *et al.* (2011b) que afirmam que os valores do uso permissível do solo mostram que, quando o índice se aproxima de zero, é recomendável manter o solo protegido, com cobertura vegetal e práticas contínuas de manejo. Em contrapartida, valores acima de 0,5 indicam maior resistência à erosão, permitindo um uso mais intenso da área, incluindo o cultivo de espécies anuais.

Analisando os dados de uso permissível com o uso atual anual, verifica-se que na classe 0,00004-0,01 com 36,45 % uso permissível correspondente aos limites entre Floresta, Vegetação Secundária e Pastagem Manejada com 58,39 % de ocupação atual, sendo uso atual maior que o permitido. Na classe entre 0,01-0,1 com 53,21 % correspondente ao uso atual entre Pastagem Manejada e Pastagem Degradada com 34,41 %, nessa situação entende-se que há possibilidade de aumento do uso para categorias que mantêm o solo coberto ou com pouca exposição de solo (Pastagem Degradada que em alguns momentos pode haver exposição de parte do solo). A classe 0,1-0,2 com 4,28 % e uso atual correspondente a Pastagem Degradada e Culturas Temporárias com 39,25 % evidencia a possibilidade de muitas áreas estarem com uso além do permissível, principalmente com Culturas Temporárias. A penúltima classe 0,2-1,0 com 3,80 % e uso correspondente a Culturas Temporárias e Solo Exposto com 23,79 % de uso atual, sendo muito acima do ideal e indicando muitas áreas com Culturas Temporárias e Solo Exposto (uso inadequado), sendo este último com apenas 2,26 % (Classe 1,0) de áreas com uso permissível em Solo Exposto.

Nesse sentido, a possibilidade de uso indevido entre Pastagem Degradada e Culturas Temporárias pode indicar a causa das variações sazonais na Perda de Solo, já que o Potencial Natural de Erosão pouco variou ao longo do ano, onde a mudança na Perda de Solo pode ser altamente sensível ao uso e manejo do solo.

O uso inadequado na área de estudo pode ser comparado com o trabalho de Santos (2011) na Região do Timbó que descreveu e analisou o uso em LAd como sendo áreas que são, em sua maioria, destinadas à pecuária, além do cultivo de café conilon e mandioca, havendo ainda pequenas áreas com abacaxi. No entanto, apresentam aptidão limitada para uso com pastagens, sendo classificadas como classe 4(p), o que indica baixa adequação para atividades agrícolas. Geralmente, localizam-se em ambientes como tabuleiros, chapadas e fundos de vale. Em muitos

casos, encontram-se cobertas por vegetação secundária (capoeira) ou pastagens degradadas, com presença marcante de samambaias, resultado do abandono dessas terras devido às dificuldades produtivas.

Tabela 26. Classes de Uso Permissível (CP_p) e suas respectivas áreas de ocupação (ha)

Período	Classes					Total
	0,00004 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 1,0	1,0	
Jan-Mar	4.735,71	6.248,16	486,99	432,45	267,21	12.170,52
Abr-Jun	4.957,11	6.067,62	469,08	414,09	262,62	12.170,52
Jul-Set	4.187,34	6.666,93	549,09	485,10	282,06	12.170,52
Out-Dez	3.159,72	7.421,58	685,80	588,42	315,00	12.170,52
Anual	4.435,56	6.476,04	521,19	463,05	274,68	12.170,52

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 27. Classes de Uso Permissível (CP_p) e suas respectivas porcentagens de ocupação

Período	Classes					Total
	0,00004 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 1,0	1,0	
Jan-Mar	38,91	51,34	4,00	3,55	2,20	100,00
Abr-Jun	40,73	49,86	3,85	3,40	2,16	100,00
Jul-Set	34,41	54,78	4,51	3,99	2,32	100,00
Out-Dez	25,96	60,98	5,63	4,83	2,59	100,00
Anual	36,45	53,21	4,28	3,80	2,26	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

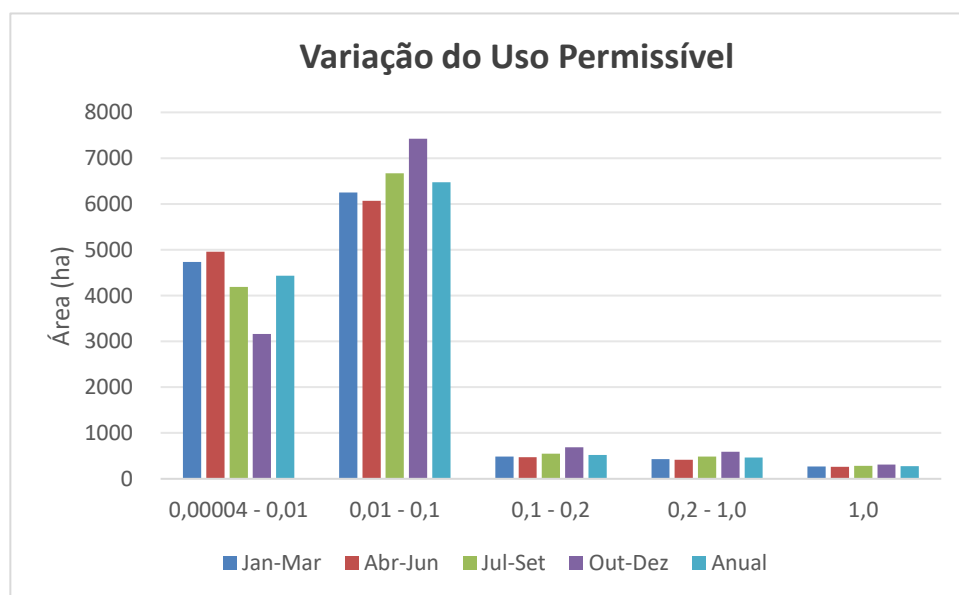


Figura 43. Distribuição das áreas relacionadas ao Uso e Manejo Permissível para a área estudada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.9 Custo de Reposição com Fertilizantes

A densidade do solo apresentou variação entre 0,707 e 0,967 Kg dm⁻³. Conforme a Figura 44, houve a interpolação dos dados de densidade, usando o

interpolador IDW, devido ao baixo Índice de Moran (0,304 P. Value: 0,06), sendo os maiores valores encontrados no setor sul da área de estudo, indicando possibilidade de solos com maior pH ou maior teor de argila, onde o maior valor desses impacta negativamente na densidade devido a sensibilidade do modelo de predição adotado a essas variáveis (maior pH e argila menor densidade) (Equação 32) (BARROS; FEARNSIDE, 2015). Essa variação pode ser explicada através da menor erosividade no setor norte relacionado a menor precipitação, nessa condição, ocorre menor lixiviação das bases do solo; ocasionando maiores valores de saturação por bases (V %) e, conseqüentemente, maior pH do solo. Em relação aos teores de argila, a variação pode estar relacionada a processos pedogenéticos ou processos erosivos intensos com retirada de horizontes superficiais e exposição de camadas com maiores teores de argila.

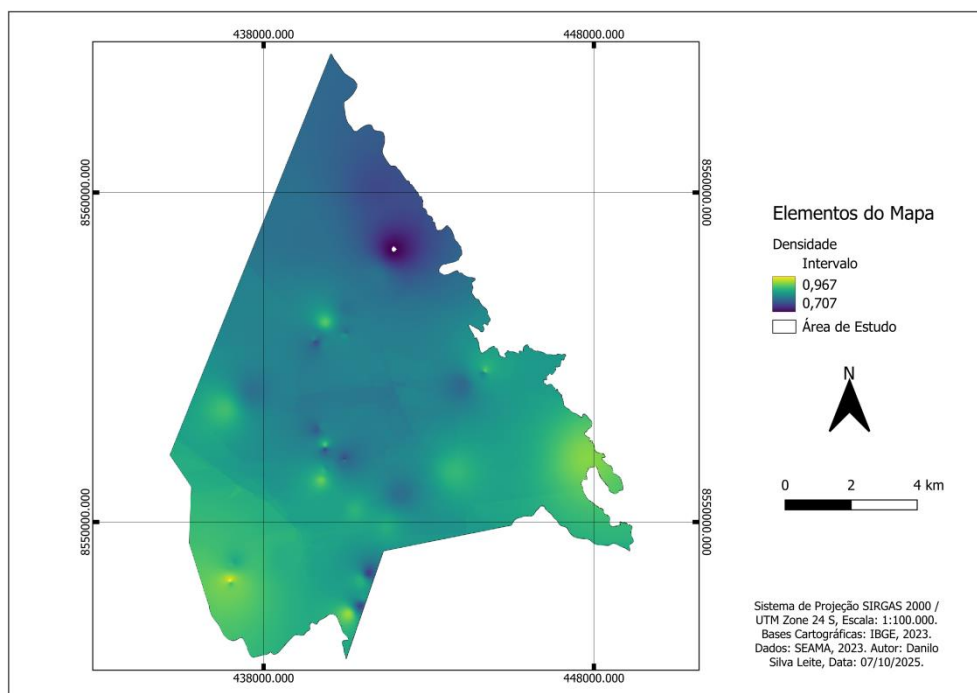


Figura 44. Densidade do solo (Kg dm^{-3}) e sua variação com tendência de menores valores no Setor Norte.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 45 apresenta a variação da profundidade potencial de remoção de solo para as séries analisadas, os trimestres Jan-Mar e Out-Dez apresentam maior potencial de remoção de solo com muitas áreas passando de 0,25 cm, a avaliação anual apresenta profundidade de remoção em todas as classes. Na avaliação anual, verifica-se áreas com potencial de remoção acima de $1,0 \text{ cm ano}^{-1}$. Observa-se maior tendência de remoção para o setor norte em todas as séries avaliadas. Medeiros *et*

al. (2016) avaliaram que Cerca de 65% do estado de São Paulo, correspondendo a aproximadamente 154.000 km², encontra-se em estágio degradado, no qual a taxa de renovação do solo é menor que a perda estimada. Nessas áreas predominam pastagens (75%) e cultivos de cana-de-açúcar (25%). Os solos mais comuns são Argissolos/Ultisols, que ocupam 51% dessas regiões, e Latossolos/Oxisols, que representam 41%. A maioria desses solos (90%) possui profundidade superior a 2 metros. A manutenção das práticas atuais pode levar ao esgotamento futuro do solo, uma vez que a taxa presumida de renovação (0,2 mm por ano) é inferior às perdas computadas. Utilizando essa taxa de renovação do solo, a área estudada apresenta grandes áreas com taxa de remoção muito superior, com muitas classes acima de 0,2 cm ano⁻¹, descrevendo o elevado potencial erosivo da região.

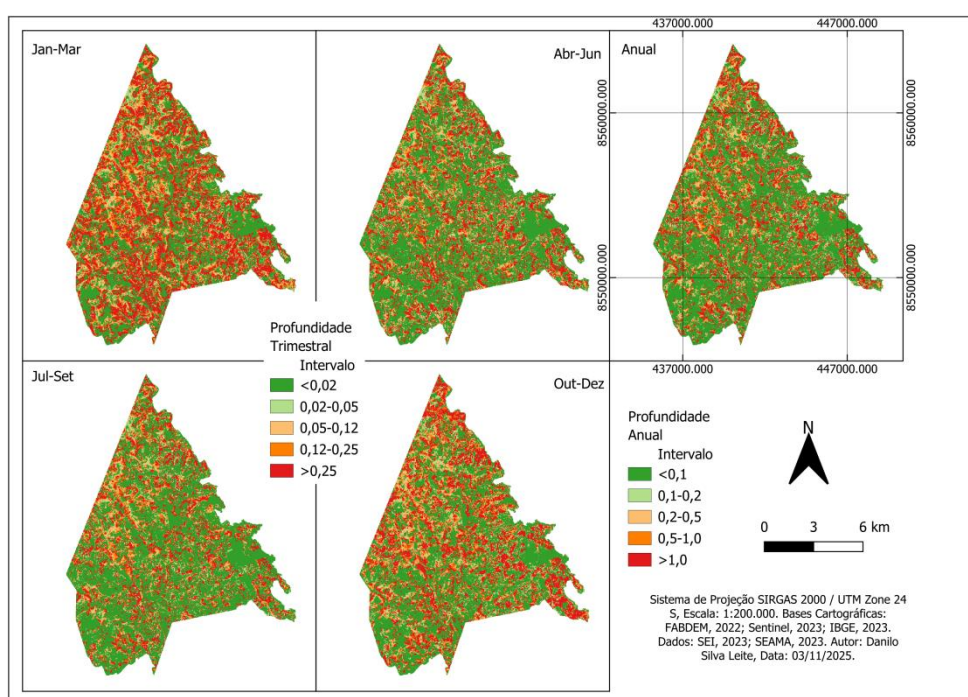


Figura 45. Variação da profundidade (cm) potencial de remoção de solo e sua classificação baseada nas classes das Figuras 34 e 37 nas séries temporais avaliadas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estatística da perda de nutrientes pelo solo, fundamentada no teste de Shapiro–Wilk e nos estimadores beta de assimetria e curtose, revela diferenças marcantes entre as variáveis avaliadas. O nitrogênio apresenta distribuição normal ($p > 0,05$), baixa assimetria e curtose moderada, associado a um CV de 27,21%, indicando relativa homogeneidade dos valores. O fósforo não segue distribuição normal ($p < 0,05$) e apresenta alta assimetria positiva e curtose elevada, refletindo forte heterogeneidade, evidenciada por seu CV de 101,73%. O potássio também apresenta distribuição não

normal ($p < 0,05$), com assimetria positiva e curtose acentuada, comportamento compatível com seu CV de 54,38%, que aponta variabilidade elevada. O cálcio, por fim, apresenta distribuição normal ($p > 0,05$), baixa assimetria e curtose alta, acompanhado de um CV de 37,27%, caracterizando maior estabilidade em comparação aos demais nutrientes (Tabela 28). Fósforo, Potássio e Cálcio foram classificados como CV muito altos $> 30\%$ e Nitrogênio como CV Alto 20 - 30 % (PIMENTEL-GOMES, 2023). Essas evidências mostram que fósforo e potássio são os mais irregulares, enquanto nitrogênio e cálcio exibem maior uniformidade na distribuição (Figura 46).

Tabela 28. Estatísticas descritivas relacionados aos dados de fertilidade do solo

Período	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Assimetria	Curtose	Normalidade	
							W	pr
Nitrogênio	39	20,717	5,637	27,213	0,405	3,077	0,973	0,4780
Fósforo	39	10,594	10,777	101,727	2,529	10,671	0,692	0,0000
Potássio	39	52,935	28,786	54,380	1,087	4,076	0,921	0,0099
Cálcio	39	401,827	149,750	37,267	0,284	3,251	0,975	0,5405

Fonte: Elaborado pelo autor.

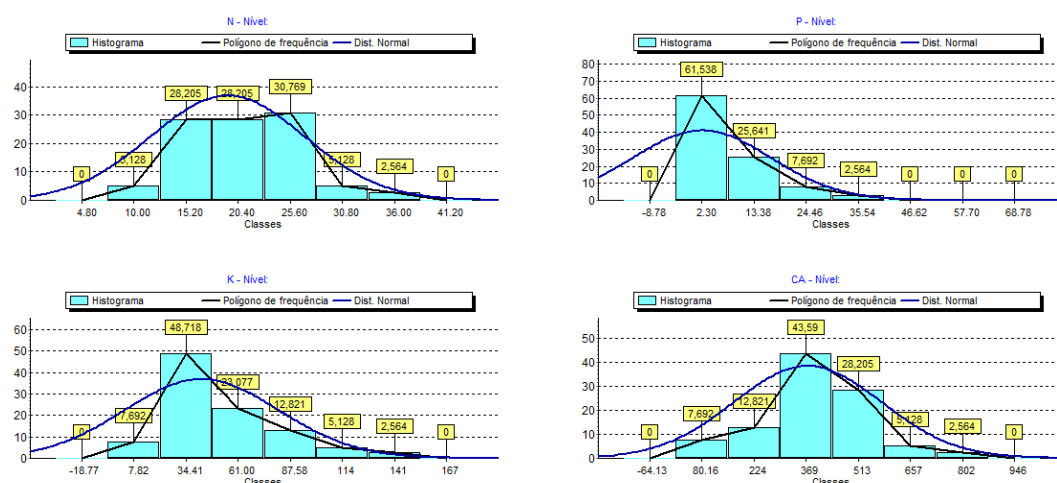


Figura 46. Avaliação da normalidade dos dados de fertilidade do solo com destaque para distribuição normal de Nitrogênio e Cálcio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os NE encontrados de 20,511 para Nitrogênio e 3,071 para Fósforo demonstraram alta dependência espacial $NE < 25,00\%$ (CAMPARDELLA *et al.*, 1994). Com base nos resultados (Tabela 29), observa-se que apenas nitrogênio e fósforo apresentaram dependência espacial consistente, expressa por I significativo e ajuste a modelos geoestatísticos (gaussiano e esférico, respectivamente), indicando que sua variabilidade no solo não é aleatória. O nitrogênio apresentou estrutura espacial moderada, com bom ajuste ($R^2 = 0,705$) e erro de validação relativamente baixo, sugerindo que a krigagem pode estimar esse nutriente com razoável precisão. O

fósforo também revelou dependência espacial, embora com menor qualidade de ajuste ($R^2 = 0,635$), mas ainda suficiente para aplicações práticas no mapeamento. Já potássio e cálcio não exibiram estrutura espacial definida, impossibilitando o ajuste de modelos; isso indica distribuição mais errática ou efeito de amostragem, o que limita o uso de técnicas interpoladoras estruturadas para esses nutrientes. O trabalho de Santos *et al.* (2017) e colaboradores encontraram ajuste no semivariograma para Matéria Orgânica do Solo, Fósforo, Potássio e Cálcio, onde eles ajustaram para Matéria Orgânica no Solo (utilizada para calcular Nitrogênio nesse estudo) o modelo Spherical, R^2 de 0,965 e moderada dependência espacial, o Fósforo também teve ajuste com o modelo Spherical, R^2 de 0,993 e alta dependência espacial.

Tabela 29. Parâmetros geoestatísticos referentes a fertilidade do solo da área de estudo

Nutriente	I (P.Value: 0,001)	Modelo	Parâmetros						Validação Cruzada	
			C0	C1	C0 + C1	NE	A	R^2	R^2	RMSE
Nitrogênio	0,646	Gaussian	7,872	30,507	38,379	20,511	5709,659	0,705	0,417	3,884
Fósforo	0,727	Spherical	2,250	71,006	73,256	3,071	4848,476	0,635	0,508	5,357
Potássio	0,216 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	0,443 ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹P.Value: 0,445; Não significativo

²P.Value: 0,017; Apesar de significativo os modelos tiveram R^2 do Semivariograma abaixo de 0,500

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados relativos ao potássio não foram significativos para o Índice de Moran, sendo interpolados através de IDW. Os dados usados para interpolar o cálcio apresentaram baixo ajuste no R^2 do Semivariograma, nesse sentido, como os dados foram significados no Índice de Moran (Tabela 30) os mesmos foram interpolados através de Machine Learning (SVM).

Os resultados indicam que o cálcio (Ca) apresenta padrão espacial relacionado principalmente às variáveis de fertilidade do solo, já que V, SB e Ca+Mg exibiram alto coeficiente de Moran e forte significância, evidenciando que áreas próximas tendem a ter valores semelhantes dessas covariáveis e, portanto, ajudam a explicar a distribuição do Ca. A coordY também mostrou dependência espacial significativa, sugerindo influência do gradiente norte–sul sobre o teor do nutriente, enquanto a coordX não alcançou significância, indicando que o eixo leste–oeste não contribui de forma consistente para explicar a variação. Apesar disso, o desempenho da validação cruzada para Ca ($R^2 = 0,129$) revela que, embora exista autocorrelação espacial, o poder preditivo ainda é limitado, possivelmente devido à complexidade dos fatores que controlam o cálcio no solo ou à necessidade de incluir mais covariáveis ambientais e de manejo no modelo (Tabela 30). Nachtigall *et al.* (2025) relataram que a baixa

eficiência do modelo SVM utilizado para previsão da fertilidade do solo em seu estudo, incluindo Cálcio, pode estar relacionado tanto pelas restrições particulares de cada método quanto pela natureza intrincada dos dados pedológicos.

Tabela 30. Parâmetros utilizados na interpolação com Machine Learning

Covariável	Moran	P. Value	Validação Cruzada	
			R ²	RMSE
V	0,402	0.001	0,129	129,150
SB	0,456	0.001		
Ca + Mg	0,454	0.001		
CoordY_SM	0,285	0.001		
CoordX_SM	0,137	0.099		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fertilidade dos solos da área de estudo está representada na Figura 47, onde podemos observar os níveis em mg dm⁻¹ para Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K) e Cálcio (Ca). Segundo Prezotti et al. (2007) a faixa observada de Nitrogênio (N) 13,25 - 28,04 mg dm⁻³ está classificada como Baixa a Média fertilidade, o Fósforo (P) 3,07 - 27,65 mg dm⁻³ se encontra na classe Baixa fertilidade (considerando para culturas anuais e textura média do solo), o Potássio (K) 18,09 - 140,44 mg dm⁻³ se encontra na classe Baixa a Média fertilidade (considerando culturas perenes e anuais) e o Cálcio (Ca) 332,30 - 404,62 mg dm⁻³ se encontra na classe Média fertilidade. Na análise dos mapas, é importante observar que pontos isolados com maior fertilidade podem estar associados as comunidades onde as atividades agrícolas são mais intensivas devido a exploração de atividades como produção de cacau e o nível tecnológico maior dos produtores rurais.

Nesse sentido, verifica-se que o nível de fertilidade encontrado na área de estudo está entre Baixa a Média, sendo compatível com o tipo de solo predominante que é Latossolo Amarelo Distrófico com características associadas ao alto grau de intemperismo e baixa fertilidade natural, Sandoval *et al.* (2002) corrobora com os dados de fertilidade do solo encontrados ao descreverem um perfil de solo (Latossolo Amarelo) na Região de Corta-Mão em Amargosa (limite da área de estudo), sendo encontrados os valores de fertilidade na camada de 0-20 cm (médias das camadas de 0-12 e 12-20 cm) 82,11 mg dm⁻³ de K, 980 mg dm⁻³ de Ca, onde o K está dentro da faixa encontrada no estudo e Ca acima do limite encontrado.

O trabalho de Oliveira (2003) em Latossolo Amarelo nos perfis P3 e P6 (Microbacia Hidrográfica do Riacho Trapiá/Jacutinga no Recôncavo Sul) descreve a fertilidade em P3 (camada 0-30 cm) com valores de 19,48 mg dm⁻³ de N (aplicação dos fatores de correção), 2 mg dm⁻³ de P, 58,65 mg dm⁻³ de K e 720 mg dm⁻³ de Ca,

nesse sentido, N e K estão dentro da faixa encontrada, P abaixo do limite e Ca acima do limite. O P6 os valores encontrados (média das camadas de 0-11 e 11-28 cm) de 19,22 mg dm⁻³ de N, 4,5 mg dm⁻³ de P, 254,15 mg dm⁻³ de K e 900 mg dm⁻³ de Ca, observa-se que N e P estão dentro dos limites encontrados no estudo e K e Ca acima do limite encontrado. Segundo Prezotti *et al.* (2007), o Ca acima desse estudo em P3 está classificado como média fertilidade (mesma do estudo), o K e Ca estão classificados com alta fertilidade em P6. Portanto, as características químicas são semelhantes com poucas divergências.

Santos (2011) corrobora com o estudo ao afirmar que o LAd na Região do Timbó apresenta classe de uso restrita devido forte deficiência de fertilidade, ligeiro a moderada deficiência de água, muito forte suscetibilidade à erosão e forte impedimento a mecanização.

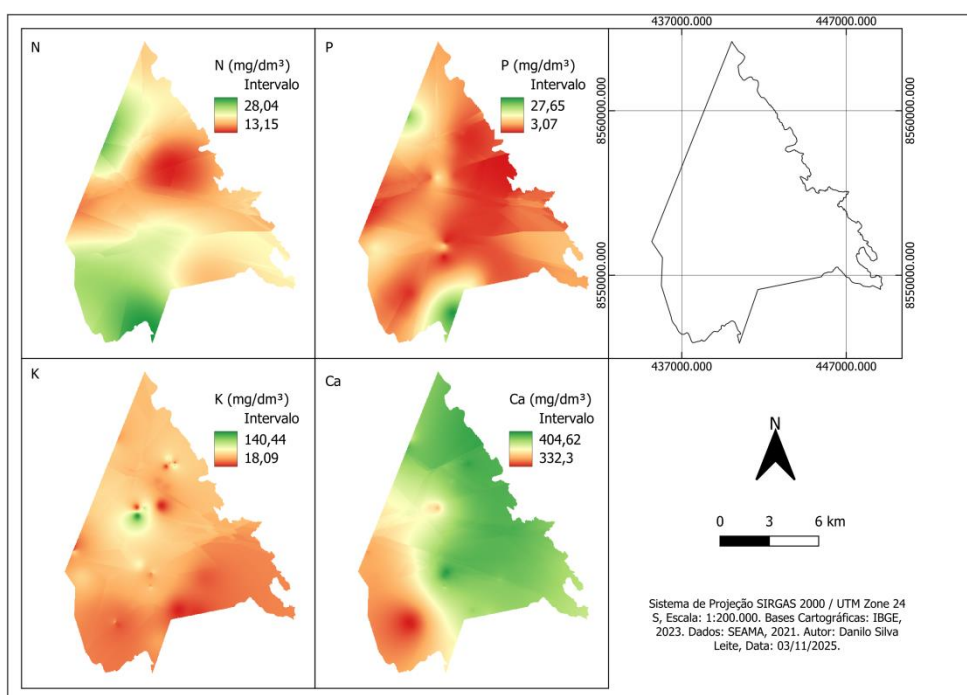


Figura 47. Fertilidade do solo para Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Cálcio na área de estudo.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição das áreas relacionadas as classes de custos estão apresentadas na Tabela 31. A análise dos custos de reposição de nitrogênio, via Ureia, removidos pela erosão do solo evidencia um padrão sazonal bem definido, refletindo variações na intensidade das perdas ao longo do ano. No primeiro trimestre, verifica-se a maior concentração de custos nas classes intermediárias, especialmente em 9,0 R\$ ha⁻¹ e 15,0 R\$ ha⁻¹, que somam R\$ 100.064,97 e R\$ 10.347,90, respectivamente, compondo a maior parcela do total trimestral (R\$ 118.851,84). Esse comportamento sugere que,

no início do ano, a erosão promove perdas mais intensas de nutrientes, exigindo maior reposição. Nos trimestres de abril a setembro, ocorre uma mudança no padrão, com predomínio da classe 3,0 R\$ ha⁻¹, cujos montantes chegam a R\$ 30.821,31 (Abr–Jun) e R\$ 31.632,93 (Jul–Set). Isso indica que, nesse período, as perdas de nutrientes por erosão são menores ou menos concentradas, resultando em custos reduzidos por hectare e menor impacto financeiro total. No último trimestre, observa-se nova intensificação das perdas, evidenciada pelo aumento expressivo na classe > 24,0 R\$ ha⁻¹, que acumula R\$ 19.334,16, contribuindo substancialmente para o total trimestral (R\$ 68.647,77). Esse incremento sugere que as condições erosivas voltam a se acentuar ao final do ano, elevando a necessidade de reposição nutricional.

No somatório anual, o padrão confirma maior peso das classes intermediárias e superiores no custo médio total. Destacam-se os valores de R\$ 72.094,35 (classe 7,5 R\$ ha⁻¹), R\$ 37.248,93 (classe 26,5 R\$ ha⁻¹) e R\$ 37.043,73 (classe 57,0 R\$ ha⁻¹), que juntas representam parcela significativa do montante anual de R\$ 211.099,42. As classes mais elevadas (113,5 R\$ ha⁻¹ e >151,0 R\$ ha⁻¹) também exercem impacto relevante, com R\$ 32.257,97 e R\$ 32.184,44, indicando que, embora menos frequentes, eventos erosivos mais severos geram custos expressivos.

No conjunto, os resultados demonstram que o custo de reposição de nitrogênio perdidos por erosão não é uniforme ao longo do ano, concentrando-se principalmente no início e no final do ciclo, períodos associados à maior suscetibilidade erosiva (Tabela 32).

Tabela 31. Classes de custos em R\$ ha⁻¹ de Ureia e suas respectivas áreas

Período	Classes Trimestral					Total
	0-6	6-12	12-18	18-24	> 24	
Jan-Mar	0,00	11.118,33	689,86	237,93	121,70	12.167,82
Abr-Jun	10.273,77	1.050,03	384,84	165,51	293,67	12.167,82
Jul-Set	10.544,31	922,59	329,22	143,82	227,88	12.167,82
Out-Dez	9.722,16	980,01	422,37	237,69	805,59	12.167,82
Anual	Classes Anual					Total
	0-15	15-38	38-76	76-151	>151	
Anual	9.612,58	1.405,62	649,89	286,59	213,14	12.167,82

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 32. Custos médios de reposição com Ureia em R\$ relacionados as séries temporais

Período	Custo Reposição (R\$) Trimestral					Total
	3,0	9,0	15,0	21,0	>24,0	
Jan-Mar	0,00	100.064,97	10.347,90	4.996,53	2.920,80	118.330,20
Abr-Jun	30.821,31	9.450,27	5.772,60	3.475,71	7.048,08	56.567,97
Jul-Set	31.632,93	8.303,31	4.938,30	3.020,22	5.469,12	53.363,88
Out-Dez	29.166,48	8.820,09	6.335,55	4.991,49	19.334,16	68.647,77
Anual	Custo Reposição (R\$) Anual					Total
	7,5	26,5	57,0	113,5	>151,0	

Anual	72.094,35	37.248,93	37.043,73	32.527,92	32.184,44	211.099,42
-------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 33 apresenta os dados relacionados as áreas das classes de custos de reposição com super simples. A distribuição dos custos de reposição do fósforo através do super simples ao longo do ano indica um comportamento erosivo consistente, com variações moderadas entre os trimestres e maior concentração dos valores nas classes de custo mais baixas por hectare. No primeiro trimestre, observa-se predominância da classe 6,0 R\$ ha⁻¹, com montante de R\$ 61.085,88, representando a maior parcela do total trimestral (R\$ 133.737,21). As classes intermediárias (21,0 R\$ ha⁻¹ e 45,0 R\$ ha⁻¹) também apresentam contribuições relevantes (R\$ 27.427,68 e R\$ 18.480,15), indicando que, no início do ano, as perdas de fósforo por erosão requerem reposição distribuída principalmente em níveis baixos a moderados. Nos trimestres subsequentes (Abr–Jun e Jul–Set), mantém-se o predomínio da classe 6,0 R\$ ha⁻¹, com montantes de R\$ 66.029,04 e R\$ 67.098,24, respectivamente, reforçando que a maior parte das perdas de fósforo ocorre em faixas de custo reduzido por hectare. As classes superiores diminuem gradualmente nesses períodos, sugerindo que a erosão tende a ser menos agressiva ou mais uniforme ao meio do ano. No último trimestre, embora a classe 6,0 R\$ ha⁻¹ ainda represente o maior valor (R\$ 62.303,34), observa-se aumento expressivo nas classes intermediárias e superiores (21,0 R\$ ha⁻¹ (R\$ 20.155,38), 45,0 R\$ ha⁻¹ (R\$ 23.299,65) e 90,0 R\$ ha⁻¹ (R\$ 22.309,20). Esse comportamento sugere intensificação das perdas de fósforo por erosão no final do ano, com maior ocorrência de áreas exigindo reposição mais elevada.

Na escala anual, o padrão confirma o peso dominante da menor classe de custo. A classe 25,0 R\$ ha⁻¹ apresenta o maior montante anual (R\$ 274.848,25), representando a maior parte do total de R\$ 449.573,30. As classes intermediárias (85,0 R\$ ha⁻¹ (R\$ 64.036,45), 180,0 R\$ ha⁻¹ (R\$ 45.559,80) e 360,0 R\$ ha⁻¹ (R\$ 45.684,00)) também contribuem de forma relevante, enquanto a classe > 480,0 R\$ ha⁻¹ soma R\$ 19.444,80, indicando que, embora menos frequentes, eventos erosivos mais intensos ocorrem e geram custos substanciais.

Em conjunto, os resultados mostram que o custo de reposição do super simples perdido pela erosão é dominado por classes de menor custo por hectare, mas com picos importantes no início e, sobretudo, no final do ano (Tabela 34). Isso sugere um comportamento erosivo persistente, porém com eventos mais intensos concentrados em determinados períodos, reforçando a necessidade de práticas conservacionistas

contínuas e ajustadas sazonalmente.

Tabela 33. Classes de custos em R\$ ha⁻¹ de Super Simples e suas respectivas áreas

Período	Classes Trimestral					Total
	0-12	12-30	30-60	60-120	>120	
Jan-Mar	10.180,98	1.306,08	410,67	188,91	81,18	12.167,82
Abr-Jun	11.004,84	826,65	223,47	82,35	30,51	12.167,82
Jul-Set	11.183,04	710,28	180,99	70,02	23,49	12.167,82
Out-Dez	10.383,39	959,78	517,77	247,88	58,50	12.167,82
Anual	Classes Anual					Total
	0-50	50-120	120-240	240-480	>480	
Anual	10.993,93	753,37	253,11	126,90	40,51	12.167,82

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 34. Custos médios de reposição com Super Simples em R\$ relacionados as séries temporais

Período	Custo Reposição (R\$) Trimestral					Total
	6,0	21,0	45,0	90,0	>120,0	
Jan-Mar	61.085,88	27.427,68	18.480,15	17.001,90	9.741,60	133.737,21
Abr-Jun	66.029,04	17.359,65	10.056,15	7.411,50	3.661,20	104.517,54
Jul-Set	67.098,24	14.915,88	8.144,55	6.301,80	2.818,80	99.279,27
Out-Dez	62.303,34	20.155,38	23.299,65	22.309,20	7.020,00	135.087,57
Anual	Custo Reposição (R\$) Anual					Total
	25,0	85,0	180,0	360,0	>480,0	
Anual	274.848,25	64.036,45	45.559,80	45.684,00	19.444,80	449.573,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

As classes de custos por hectare de cloreto de potássio e suas respectivas áreas estão na Tabela 35. A distribuição dos custos de reposição do cloreto de potássio revela um padrão consistente ao longo do ano, com clara predominância da classe de menor custo por hectare (19,5 R\$ ha⁻¹), que responde pela maior parte do montante em todos os trimestres. No período de janeiro a março, essa classe acumula R\$ 214.991,01, compondo a maior parcela do total trimestral (R\$ 338.008,19), enquanto as classes intermediárias e superiores apresentam valores progressivamente menores, indicando que, no início do ano, a maior parte das perdas de potássio por erosão ocorre em níveis de baixa intensidade. Entre abril e setembro, mantém-se esse padrão de predominância da classe 19,5 R\$ ha⁻¹, com montantes de R\$ 224.905,01 (Abr-Jun) e R\$ 227.019,78 (Jul-Set). Os valores das classes superiores diminuem gradualmente nesses períodos, sugerindo que, no meio do ano, a erosão remove potássio de forma mais uniforme e menos intensa, resultando em menores custos unitários por hectare. No entanto, o total trimestral ainda permanece elevado (R\$ 290.895,35 e R\$ 280.463,27) evidenciando que, apesar da baixa intensidade por hectare, a abrangência espacial das áreas afetadas pode ser elevada. No último trimestre, observa-se novamente uma ampliação dos valores nas classes intermediárias e superiores, especialmente em 78,5 R\$ ha⁻¹ (R\$ 70.593,48) e 177,0

R\$ ha⁻¹ (R\$ 55.420,47). Esse comportamento sugere intensificação das perdas de potássio no final do ano, possivelmente associada a condições erosivas mais severas nesse período, o que se reflete no maior total trimestral registrado (R\$ 356.972,27).

Na avaliação anual, a classe 78,5 R\$ ha⁻¹ apresenta o maior montante (R\$ 897.082,30), destacando-se como a faixa de maior impacto financeiro dentro dos custos totais de reposição (R\$ 1.222.300,46). As classes subsequentes (314,5 R\$ ha⁻¹ (R\$ 177.264,78), 708,5 R\$ ha⁻¹ (R\$ 94.896,49) e 1.260,5 R\$ ha⁻¹ (R\$ 42.781,37)) também demonstram contribuição relevante, enquanto a classe > 1.576,0 R\$ ha⁻¹, embora menos frequente, ainda acumula R\$ 10.275,52, indicando ocorrência pontual de perdas intensas de potássio. Os resultados evidenciam que o cloreto de potássio apresenta elevado custo anual de reposição, dominado por classes de menor custo por hectare, mas com aumentos significativos no final do ano em classes mais elevadas (Tabela 36).

Tabela 35. Classes de custos em R\$ ha⁻¹ de Cloreto de Potássio e suas respectivas áreas

Período	Classes Trimestral					Total
	0-39	39-118	118-236	236-394	>394	
Jan-Mar	11.025,18	893,97	186,48	49,23	10,98	12.165,84
Abr-Jun	11.533,59	516,42	83,88	25,11	6,84	12.165,84
Jul-Set	11.642,04	431,01	71,82	17,28	3,69	12.165,84
Out-Dez	10.896,39	899,28	313,11	50,67	6,39	12.165,84
Anual	Classes Anual					Total
	0-157	157-472	472-945	945-1576	>1576	
Anual	11.427,80	563,64	133,94	33,94	6,52	12.165,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 36. Custos médios de reposição com Cloreto de Potássio em R\$ relacionados as séries temporais

Período	Custo Reposição (R\$) Trimestral					Total
	19,5	78,50	177,00	315,00	>394,0	
Jan-Mar	214.991,01	70.176,65	33.006,96	15.507,45	4.326,12	338.008,19
Abr-Jun	224.905,01	40.538,97	14.846,76	7.909,65	2.694,96	290.895,35
Jul-Set	227.019,78	33.834,29	12.712,14	5.443,20	1.453,86	280.463,27
Out-Dez	212.479,61	70.593,48	55.420,47	15.961,05	2.517,66	356.972,27
Anual	Custo Reposição (R\$) Anual					Total
	78,50	314,50	708,50	1260,50	>1576,0	
Anual	897.082,30	177.264,78	94.896,49	42.781,37	10.275,52	1.222.300,46

Fonte: Elaborado pelo autor.

As classes de custos com calcário e suas áreas correspondentes estão na Tabela 37. A reposição de calcário decorrente das perdas por erosão do solo apresentou oscilações marcantes entre os trimestres, refletindo mudanças na intensidade da remoção superficial e na capacidade de tamponamento dos solos ao longo do ano. Logo no primeiro trimestre (jan-mar), observou-se um custo total de R\$ 299.084,76, com maior concentração nas classes iniciais, sobretudo 13,0 R\$ ha⁻¹

e 39,0 R\$ ha⁻¹, sugerindo que as perdas de bases trocáveis se manifestaram de forma moderada nesse período. Entre abril e junho, houve redução do montante global para R\$ 234.996,84, acompanhada de diminuição progressiva nas classes superiores. Esse comportamento indica menor intensidade de remoção de nutrientes e menor demanda de correção da acidez, caracterizando um trimestre de menor impacto erosivo. O trimestre julho–setembro manteve tendência semelhante, com total de R\$ 221.729,04, o segundo menor do ano. Nessa fase, observa-se distribuição mais equilibrada entre as classes, embora ainda com predomínio das faixas de menor custo, sugerindo estabilidade na perda de cálcio e magnésio solúveis transportados pelas enxurradas. Já no período outubro–dezembro, verificou-se um comportamento distinto: o total atingiu R\$ 314.183,61, o maior entre os trimestres. Esse acréscimo está associado ao aumento significativo das classes R\$ ha⁻¹, 156,0 R\$ ha⁻¹ e >208,0 R\$ ha⁻¹, indicando intensificação das perdas erosivas no final do ano; possivelmente relacionadas à exposição do solo em fases críticas do manejo.

Na avaliação anual, sobressai a classe 52,0 R\$ ha⁻¹, responsável pelo maior dispêndio (R\$ 557.872,12) dentro do montante total de R\$ 987.724,94, revelando que grande parte da demanda anual por calcário se acumula em níveis moderados de correção.

De modo geral, os resultados demonstram que o processo erosivo exige quantidades distintas de corretivos de acidez, demandando maior aplicação nos períodos de maior pluviosidade e onde há pouca proteção do solo (Tabela 38).

Tabela 37. Classes de custos em R\$ ha⁻¹ de Calcário e suas respectivas áreas

Período	Classes Trimestral					Total
	0-26	26-52	52-104	104-208	>208	
Jan-Mar	9.810,27	1.326,51	629,64	245,88	155,52	12.167,82
Abr-Jun	10.744,92	863,28	371,88	123,30	64,44	12.167,82
Jul-Set	10.962,00	753,48	299,88	101,25	51,21	12.167,82
Out-Dez	10.163,34	821,25	557,82	453,15	172,26	12.167,82
Anual	Classes Anual					Total
	0-104	104-208	208-417	417-834	>834	
	10.728,31	799,77	371,00	167,76	100,98	12.167,82

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 38. Custos médios de reposição com Calcário em R\$ relacionados as séries temporais

Período	Classes Trimestral					Total
	13,0	39,0	78,0	156,0	>208,0	
Jan-Mar	127.533,51	51.733,89	49.111,92	38.357,28	32.348,16	299.084,76
Abr-Jun	139.683,96	33.667,92	29.006,64	19.234,80	13.403,52	234.996,84
Jul-Set	142.506,00	29.385,72	23.390,64	15.795,00	10.651,68	221.729,04
Out-Dez	132.123,42	32.028,75	43.509,96	70.691,40	35.830,08	314.183,61
Classes Anual						

	52,0	156,0	312,5	625,5	>834,0	
Anual	557.872,12	124.764,12	115.937,50	104.933,88	84.217,32	987.724,94

Fonte: Elaborado pelo autor.

O somatório dos custos de reposição de ureia, super simples, cloreto de potássio e calcário evidencia que a erosão do solo gera impacto financeiro significativo ao longo do ano, com variações marcantes entre os trimestres (Tabela 39). No primeiro trimestre (jan–mar), o total atingiu R\$ 889.160,36, o maior entre os períodos avaliados, resultado que reflete possível maior exposição do solo, favorecendo a remoção de nutrientes. Esse trimestre apresentou valores elevados especialmente para o cloreto de potássio (R\$ 338.008,19) e calcário (R\$ 299.084,76), indicando forte perda de K e bases trocáveis. Nos trimestres seguintes, ocorre redução gradual dos custos. Entre abril e junho, o total recua para R\$ 686.977,70, e entre julho e setembro para R\$ 654.835,46, os menores valores do ano. Esse comportamento sugere a maior estabilidade da cobertura vegetal com menor exposição do solo. No entanto, o último trimestre (out–dez) volta a mostrar expressiva elevação, somando R\$ 874.891,22, aproximando-se do pico observado no início do ano. Esse aumento é impulsionado principalmente pelos custos com cloreto de potássio (R\$ 356.972,27) e calcário (R\$ 314.183,61), evidenciando que o final do ano concentra novamente perdas relevantes de potássio e elementos relacionados à correção da acidez do solo.

Na avaliação anual, o nutriente de maior impacto financeiro é o cloreto de potássio, totalizando R\$ 1.222.300,46, representando a maior contribuição para o montante global de R\$ 2.870.698,12. Em seguida, destacam-se o calcário (R\$ 987.724,94) e o super simples (R\$ 449.573,30), enquanto a ureia apresenta o menor custo relativo (R\$ 211.099,42), embora ainda expressivo diante da recorrência das perdas.

Os custos relacionados a reposição de nutrientes estão sintetizados na Figura 48.

Tabela 39. Custos médios de reposição com Ureia, Super Simples, Cloreto de Potássio e Calcário e suas respectivas séries temporais.

Período	Custo Total (R\$)				Total
	Ureia	Super Simples	Cloreto de Potássio	Calcário	
Jan-Mar	118.330,20	133.737,21	338.008,19	299.084,76	889.160,36
Abr-Jun	56.567,97	104.517,54	290.895,35	234.996,84	686.977,70
Jul-Set	53.363,88	99.279,27	280.463,27	221.729,04	654.835,46
Out-Dez	68.647,77	135.087,57	356.972,27	314.183,61	874.891,22
Anual	211.099,42	449.573,30	1.222.300,46	987.724,94	2.870.698,12

Fonte: Elaborado pelo autor.

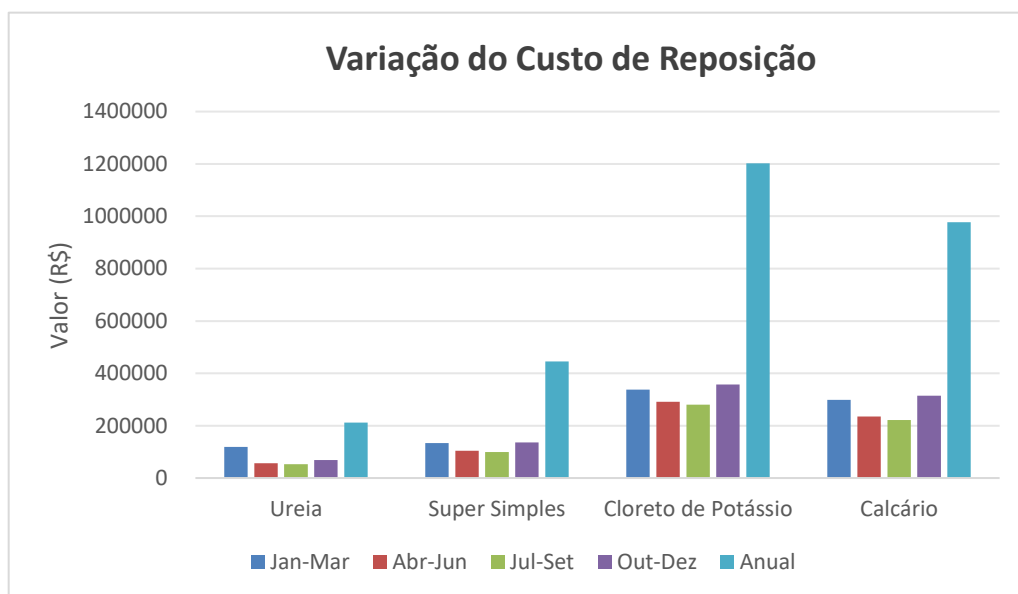


Figura 48. Custos de Reposição nas séries temporais avaliadas para a área estudada com destaque para o Cloreto de Potássio.
Fonte: Elaborado pelo autor.

As principais classes de custo de reposição anual foram de 7,5 R\$ ha⁻¹ para Ureia, 25,0 R\$ ha⁻¹ para Super Simples, 78,5 R\$ ha⁻¹ para Cloreto de Potássio, 52,0 R\$ ha⁻¹ para Calcário e Total de 163 R\$ ha⁻¹. Os valores de custos encontrados (após conversão das perdas dos nutrientes para os fertilizantes e preço atual de mercado utilizados nesse estudo) por Marques *et al.* (2005) de 176, 91 R\$ ha⁻¹ para Ureia, 3,04 R\$ ha⁻¹ para Super Simples, 20,53 R\$ ha⁻¹ para Cloreto de Potássio, 15,64 R\$ ha⁻¹ para Calcário e Total de 216,12 R\$ ha⁻¹. O menor valor encontrado nesse estudo pode estar relacionado a baixa/média fertilidade dos solos, onde apesar das altas taxas de erosão a remoção de nutrientes é baixa devido a pequena disponibilidade dos nutrientes na camada de 0-20 cm, além disso, esse estudo não leva em consideração os custos relacionados a aplicação dos fertilizantes e corretivos e as perdas de fertilidade relacionadas a degradação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solos que impactam na capacidade produtiva dos mesmos; e os problemas ambientais como assoreamento dos cursos d'água. No entanto, comparando o trabalho de Pereira *et al.* (2019) e colaboradores (após as correções de tipos de fertilizantes e preços atuais) que encontraram um custo total anual de reposição para 3 nutrientes (N - P - K) de 2.643.624,86 R\$ ano⁻¹ para 64.341 ha sendo 41,09 R\$ ha⁻¹ ano⁻¹, esse estudo obteve 1.859.952,20 R\$ ano⁻¹ para aproximadamente 12.167,82 ha sendo 152,86 R\$ ha⁻¹ ano⁻¹ (não adicionando o custo com calcário), portanto 272,01 % superior; indicando o potencial elevado de remoção do nutrientes da área estudada.

4.10 Impactos na Agropecuária de Amargosa

Os resultados de Perda de Solo foram confrontados através da avaliação em campo com pontos aleatórios (Figura 49). Observou-se que muitas áreas apresentaram feições erosivas em classes de perdas mais elevadas ($> 100,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) sendo representada na Tabela 40, nessa, áreas com elevado potencial erosivo estão vinculadas a usos com Pastagens Degradadas em alta declividade como nos pontos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11 e 14. Na classe $10 - 20 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ estão os pontos 6 e 12 com uso e ocupação relacionado a Vegetação Secundária; recuperação natural para o primeiro e cacau consorciado para o segundo. A classe $< 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ teve como representação os pontos 10 e 13 relacionados Pastagem Manejada (área de baixa declividade a margem de curso d'água) e Vegetação Secundária (recuperação natural e cacau consorciado) para o ponto o ponto 10 e Pastagem Manejada em baixa declividade (tabuleiro alto) para o ponto 13.

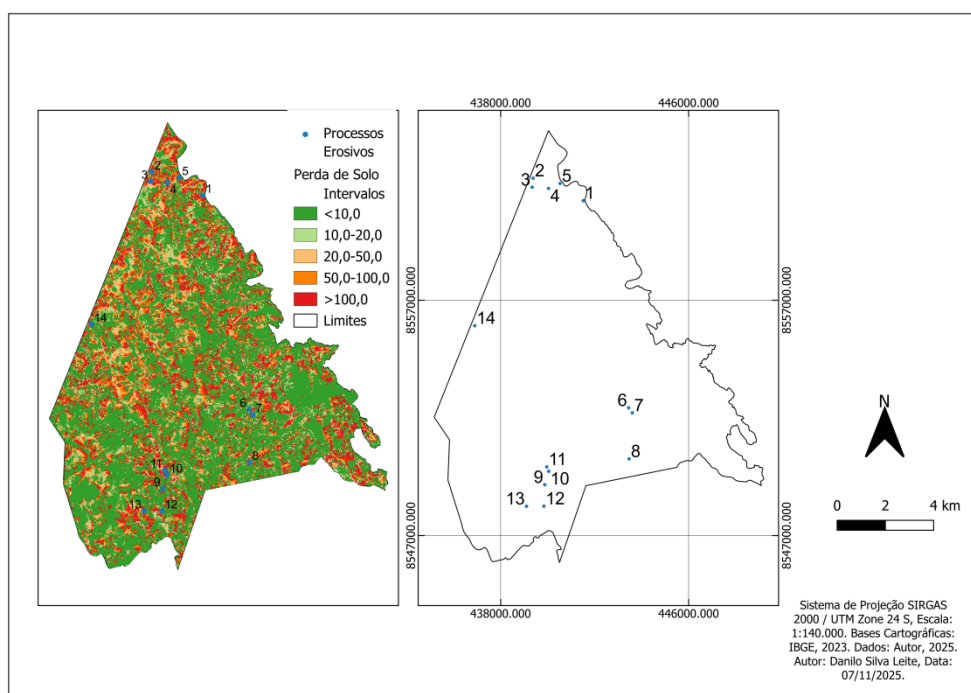


Figura 49. Pontos com processos com diferentes processos erosivos e movimentos de massa registrados em campo.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 40. Avaliação em campo através de registros fotográficos dos processos erosivos encontrados e suas correspondentes classes de Perda de Solo (A).

Pontos	Perda de Solo (Classe)	Situação
--------	------------------------	----------

1	> 100,0	
2	> 100,0	
3	> 100,0	
4	> 100,0	

5	> 100,0	
6	10,0 - 20,0	
7	> 100,0	
8	> 100,0	

9	> 100,0	
10	< 10,0	
11	> 100,0	
12	10,0 - 20,0	

13	< 10,0	
14	> 100,0	 Antes (2021)  Depois (2025)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos movimentos de massa, verificou-se várias áreas com movimento do tipo Rastejo como representado por Peixoto (2022) e identificado nos pontos 1, 2, 3, 7, 8, 9 e 11 (muito visível no ponto 1), Gonçalves e Oliveira (2016) avaliaram que o movimento de massa do tipo rastejo identificado no Morro do Benjamim foi associado principalmente à elevada declividade da vertente. Entretanto, o processo parece ter sido intensificado pelas condições de uso da área, marcada pela presença de gado. O pisoteio e a formação de caminhos de boi promoveram o adensamento do solo, típico de pastagens degradadas, favorecendo o escoamento superficial concentrado ao longo dos eixos de drenagem e contribuindo para a progressão do rastejo; essa afirmação corrobora com a observação de campo. Os

pontos 4, 5 e 14 podem estar associados a possíveis movimentos de massa do tipo Escorregamentos Rotacionais como representado por Tominaga *et al.* (2015).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Erosividade na área avaliada varia trimestralmente com redução no último trimestre (Out-Dez); apesar da relativa estabilidade durante o ano. As classes anuais de Erosividade encontradas são Média e Baixa. Em relação a Erodibilidade, a classe encontrada foi moderada. O Fator LS obteve predominância nas classes mais elevadas com 74,56 % da área entre Moderada, Alta e Muito Alta, sendo evidente o impacto do desse fator no potencial erosivo. O Fator que apresentou alta variabilidade trimestral foi o CP, esse contribuiu de forma significativa para a variação do potencial erosivo trimestral, sendo que as classes de uso e ocupação do solo com maior impacto na perda de solo (Pastagem Degradada, Culturas Temporárias e Solo Exposto) apresentaram forte participação nos trimestres de Jan-Mar e Out-Dez evidenciando os riscos associados as práticas agropecuárias nesses trimestres.

O PNE não varia significativamente durante os trimestres, apesar da pequena redução da classe mais alta no último trimestre. No entanto, a Perda de Solo (A) apresentou variações significativas nos trimestres acompanhando o Fator CP e comprovando a importância do uso do solo e as práticas agropecuárias no potencial erosivo, além disso, a dinâmica geomorfológica com mudanças abruptas nas declividades, saindo de baixa declividade (Tabuleiros) para altas declividades (Encostas) pode ter contribuído para a concentração da perda de solo nas classes extremas. Os riscos de erosão são maiores nos trimestres de Jan-Mar e Out-Dez com valores também concentrados nas classes extremas, esses valores nas classes altas corrobora com o Uso Permissível com baixa variação ao longo do ano e baixa margem para usos mais intensivos como culturas temporárias e exposição do solo.

Os custos de reposição com fertilizantes e corretivos apresentaram variações importantes ao longo do ano com os custos para Ureia nos trimestres de Jan-Mar e Out-Dez, sendo esse trimestre observado aumento para a classe de custos por hectare mais elevada, ou seja, aumento da capacidade de remoção de Nitrogênio do solo. Em relação ao Super Simples, os maiores custos também ficaram nos trimestres de Jan-Mar e Out-Dez, o mesmo aconteceu para o Cloreto de Potássio e Calcário, sendo evidente a importância do Fator CP para os custos de reposição, já que, os mesmos acompanharam a variação trimestral do CP. O somatório anual das 4 fontes ficou em 2.837.615,54 R\$ ano⁻¹ para a área estudada, sem levar em consideração os custos com aplicação e outros fatores envolvidos como perda das qualidades físicas, químicas e biológicas do solo; além dos impactos ambientais.

Portanto, os impactos gerados pela erosão laminar do solo são refletidos na produção agropecuária através da redução da capacidade produtiva, sendo altamente influenciada pelo uso incorreto do solo que leva ao aumento da erosão, perda de fertilidade entre outros. Observou-se muitas áreas com usos fora do permissível, sendo necessário atividades ou programas governamentais que sensibilizem os produtores rurais sobre os impactos nas atividades agropecuárias e a perda da qualidade do solo além dos processos erosivos extremos como movimentos de massa. Novos estudos podem otimizar os impactos erosivos através de metodologias que levam em consideração a erosão além da laminar devido a limitação da EUPS, além da incorporação de custos de reposição com outros nutrientes e os impactos na qualidade e saúde do solo; além dos prejuízos para uso nas gerações futuras, onde esse estudo pode contribuir na definição de políticas públicas, principalmente, em relação aos períodos com menores riscos erosivos para as práticas agropecuárias e na aplicação dessa metodologia em Secretarias Municipais de Agricultura que geralmente dispõe de dados referentes ao solo via agricultores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, André Quintão de et al. Modelling the spatial dependence of the rainfall erosivity index in the Brazilian semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 52, n. 6, p. 371-379, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000600001>

ADAMI, M.; PINHEIRO, E. S.; MOREIRA, M. A. Aplicação de diferentes algoritmos para a classificação de imagens etm+/landsat- 7 no mapeamento agrícola. in: Simpósio latino americano de percepción remota y sistemas de Información espacial, 10., Cochabamba. **Anais...** Bolívia, 2002.

ADÃO, A. C. D., CAPRONI, D. T. R., NOGUEIRA, J. C. F., & SABONARO, D. Z. (2024). Estudo de Caso: Erosão Hídrica na Represa no Recanto no Zé Dé em Juruia, MG, Após Grande Evento Chuvoso. **Cadernos De Estudos Interdisciplinares**, 6(1), e612467. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14040921>.

ALVES, M.A.B.; BORELLA, D.R.; PAULISTA, R.S.D.; ALMEIDA, F.T.d.; SOUZA, A.P.d.; CARVALHO, D.F.d. Water Infiltration in Different Soil Covers and Management in the Cerrado Amazon Ecotone, Brazil. **Soil Syst.** 2024, 8, 31. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010031>

ANDRIOTTI, J. L. S. Introdução à Geoestatística. Acta Geologica Leopoldensia, v.6, p.5-81, 1988.

BABU, S., NARAYANAN, R.M. Soil Erosion Assessment For Northern Kerala Utilizing Rusle Method And Gis Techniques. **International Journal of Environmental Sciences**, [S. l.], p. 1087–1097, 2025. DOI: 10.64252/ann6j930. Disponível em: <https://theaspd.com/index.php/ijes/article/view/2722>.. Acesso em: 16 mar. 2026.

BACK, Á. J. **Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perdas de Solo**. Florianópolis: Epagri, 2023. 80p. (Epagri. Boletim Técnico, 210).

BARBOSA, A.F., OLIVEIRA, E.F., MIOTTO, C.L., PARANHOS FILHO, A.C., 2015. The Application of the Universal Soil Loss Equation by Using Free and Available Softwares. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. 38, 170–179. https://doi.org/10.11137/2015_1_170_179.

BARROS, Henrique Seixas; FEARNSIDE, Philip Martin. PEDO-TRANSFER FUNCTIONS FOR ESTIMATING SOIL BULK DENSITY IN CENTRAL AMAZONIA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 397-407, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140358>.

BARROWS, Harold L. et al. Plant Nutrient Losses from Soils by Water Erosion. **Advances In Agronomy**, [S.L.], p. 303-316, 1963. Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2113\(08\)60401-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2113(08)60401-0).

BENAVIDEZ, R.; JACKSON, B.; MAXEL, D.; NORTON, K. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.22, p.6059–6086, 2018.

BENNETT, H.H. **Soil Conservation**. New York and London: McGraw-Hill Book Company Inc., 1939. 993p.

BERTOL, I.; DE MARIA, L. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa-MG: SBCS, 2019.

BOLLELI, Talyson et al. Análise espaço-temporal e extrema da erosividade da chuva na região centro-leste do Estado de São Paulo, Brasil. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 43, p. 1-19, 4 set. 2023. Universidade de São Paulo. Agência de Bibliotecas e Coleções Digitais. <http://dx.doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2023.205190>.

BORGES, Kelly Maria Resende. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos**. (Dissertação de Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2009. 68p.

BORGUEZAN, Bruno Max. **Análise textural a partir do histograma de densidades da imagem tomográfica computadorizada do nódulo pulmonar solitário: estudo da curtose e assimetria**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Médicas) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mata Atlântica**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/mata-atlantica>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BERNAL, Juliana Maria da Silva. **CONTRIBUIÇÃO DO APORTE FLUVIAL DE SEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DAS PRINCIPAIS PLANÍCIES QUATERNÁRIAS DO ESTADO DA BAHIA**. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

BERTOL, Ildegardis et al. Nutrient and Organic Carbon Losses, Enrichment Rate, and Cost of Water Erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 1-15, 2017. FapUNIFESP (SciELO).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2005.

BERTONI, J., & Lombardi Neto, F. (2008). **Conservação do Solo (6ª ed.)**. São Paulo: Ícone.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, n.79, p. 49-59, 2009.

BLOISE, Gabriela de Lima Freitas et al. **Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da Bacia do Olaria-DF**. Planaltina : Embrapa Cerrados, 2001. 33 p.

BOUYOUCOS, G.J. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.27, p.738-741, 1935.

BRUBACHER, João Paulo et al. Preenchimento de Falhas e Espacialização de Dados Pluviométricos: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 615-629, dez. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863540067>.

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

CAMPOS, Milton César Costa et al. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas geoestatísticas. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 974-980, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782008000400011>.

CECHIM JUNIOR, Clovis; ARAKI, Hideo; MACEDO, Rodrigo; DAMBRAT, Heloise Milena. Classificação supervisionada de imagens Sentinel 2 com machine learning no Google Earth Engine. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 20., 2023, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2023.

COELHO, Maurício Rizzatto et al. **Erodibilidade dos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2024. 38 p. (Documentos / Embrapa Solos, 246).

COGO, N. P. et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 743-753, ago. 2003.

CORREA, Nelison Ferreira et al. Map Algebra in the Qualitative Estimation of Annual Soil Loss by Laminar Erosion in the Dourados River Basin, Brazil. **Terr Plural**, [S.L.], v. 16, p. 1-24, 2022. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). <http://dx.doi.org/10.5212/terraplural.v.16.2217742.018>.

COUTINHO, Luciano Melo et al. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, Boa Vista, v. 8, n. 1, p. 01-09, abr. 2014.

DA SILVA, L. S., FERRAZ, L. L., ROCHA, F. A., SILVA SANTOS, C. A., SOUSA, L. F., & DALTRO, U. S. (2021). Estimativa de Erosividade das chuvas (R) em uma bacia tropical do oeste da Bahia. **Revista Brasileira De Geografia Física**, 14(5), 3044–3056. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p3044-3056>

DECHEN, Sonia Carmela Falci et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, [S.L.], v. 74, n. 2, p. 224-233, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0363>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). **Controle da erosão**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto/fundamentos/beneficios/ao-solo/controle-da-erosao>. Acesso em: 09 maio 2024.

ENGEL, B. (2003) **Estimating soil erosion using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) using ArcView**. Disponível em: . Acesso em: 08 jul 2025.

ERKOSSA, T. et al. Linking soil erosion to on-site financial cost: lessons from watersheds in the blue Nile basin. **Solid Earth**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 765-774, 22 jun. 2015. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/se-6-765-2015>.

ESA, Ebrahim et al. Implications of land use/cover dynamics on soil erosion potential of agricultural watershed, northwestern highlands of Ethiopia. **Environmental Systems Research**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-

14, 13 ago. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40068-018-0122-0>.

FIGUEIREDO, Caio Henrique Ungarato. POTENCIAL NATURAL À EROÇÃO DOS SOLOS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO Córrego da Vista Alegre, no Município de Muniz Freire (ES). **Revista Tocantinense de Geografia**, [S. l.], v. 10, n. 22, p. 221–230, 2021. DOI: 10.20873/rtg.v10n22p221-230. Disponível em: <https://periodicos.ufnt.edu.br/index.php/geografia/article/view/11275>. Acesso em: 17 nov. 2025.

FAO Soils Bulletin 38/1. **Soil and Plant Testing and Analysis**. 250 p. 1980.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; OLIVEIRA, F. P. de.; RIBEIRO, G. do N. .; SILVA, V. F.; AYRES, G. D. J. . Estimativa e Classificação da Erodibilidade dos Solos do Estado da Paraíba – 1.a Aproximação. **Revista Geama**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 75–86, 2024. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/5656>. Acesso em: 11 fev. 2025.

FRANKIE, G. W., H. G. BAKER, & P. A. OPLER. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology** 62: 881-913.

FERRAZ, Gabriel A. e S. et al. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 140-150, fev. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162012000100015>.

FREIRES, Eduardo Viana et al. Mapeamento da erosividade e erodibilidade da vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE e entorno como subsidio ao planejamento ambiental. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 21-40, 24 jul. 2023. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n2id30719>.

GONÇALVES, Y.; OLIVEIRA, M. Estudo de movimento de massa do tipo rastejo (creeping) no Morro do Benjamin, em São José – SC. In: XI SINAGEO – Simpósio Nacional de Geomorfologia, Maringá, 15 a 21 set. 2016. **Anais...** 2016.

GEZICI, Kadir et al. Assessment of soil erosion risk in the mountainous region of northeastern Türkiye based on the RUSLE model and CMIP6 climate projections. **Environmental Earth Sciences**, [S.L.], v. 84, n. 6, p. 1-21, mar. 2025. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-025-12184-6>.

GRILLO, Vinícius et al. Alteração da densidade do solo por operações agrícolas mecanizadas: interação entre ambiente e equipamentos. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 1-15, 17 abr. 2024. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv7n2-017>.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. 1984. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: 2a ed. Edgard Blücher,. 194p.

GUESSER, Vagner Portes. **ZONAS DE MANEJO DO TEOR DE FÓSFORO (P) E RESPOSTA DA SOJA INOCULADA COM SOLUBILIZADOR DE FOSFATO**. 2022. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

GUIMARÃES, Danielle Vieira. **Erosão hídrica em sistemas florestais no extremo sul da Bahia**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

GUPTA, S., KUMAR, S., 2017. Simulating climate change impact on soil erosion using RUSLE model– a case study in a watershed of mid-Himalayan landscape. **Journal of Earth System Science** **126**, 1-20.

HARLEY S. L. 1989. The origins of granulites: a metamorphic perspective. **Geological Magazine**, 126(3), 215-247.

HAWKER, L.; UHE, P.; PAULO, L.; SOSA, J.; SAVAGE, J.; SAMPSON, C.; NEAL, J. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 2, p. 024016, 2022. Available from: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>.

HERNANI, L. C. et al. SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO E PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA POR EROSÃO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 145-154, set. 1999.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. Ithaca, Cornell University Press, 1977. 320p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Bioma Mata Atlântica**. 2025. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/bioma-mata-atlantica>. Acesso em: 20 jan. 2025.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (INEMA). **GeoBahia: Mapa Interativo do Estado da Bahia**. Salvador: Governo do Estado da Bahia, 2019. Disponível em: <http://mapa.geobahia.ba.gov.br/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Clima: downloads**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=downloads>. Acesso em: 13 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. ISBN 978-85-240-4307-9.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Subprovíncias estruturais**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2020. 168 p.: il.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Downloads de geociências**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 13 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. 2024a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/amargosa/pesquisa/38/46996?indicador=47006>. Acesso em: 09 maio 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. 2024b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/amargosa/panorama>. Acesso em: 14 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA)**. 2025. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 21 jan. 2025.

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2. ed. rev. e ampl. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p.

JOHANN, Jerry A. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 8, n. 2-3, p. 212-219, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662004000200008>.

KETTENHUBER, Paula Letícia Wolff. **Plantas herbáceas nativas do Brasil para controle da erosão do solo**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2021. 174 p.

KOWALENKO, C.G. Evaluation of hot KCl extraction as an index of mineralizable N: Ammonium and ultraviolet absorption measurements. Can. **Soil Science Society of Journal**, v.86, p. 911-920, 2006.

LANDIM, P.M.B. 2004. **Análise estatística de dados geológicos**. 2ed. Revista e ampliada. Unesp. São Paulo

LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da (editores). **Ecologia e conservação da caatinga**. Prefácio de Marcos Luiz Barroso Barros. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p.

LENSE, Guilherme Henrique Expedito. **Modelagem das perdas de solo por erosão hídrica em áreas tropicais brasileiras**. 2024. 92 f.. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2024.

Li, Z., Fang, H. 2016. Impacts of climate change on water erosion: A review. **Earth-Science Reviews** 163, 94-117.

LIMA, G. C.; VASCONCELOS, K. A. V. E GOMES, P. I. M. A. **Terrenos Gnáissicos de Alto Grau e Zonas de Sutura**. Dissertação de mestrado em Geologia/Geotecnia. Universidade Federal do Pará. Belém, Pará. 2014.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, p. 189-96. 1992.

LOPES, Fernando Bezerra et al. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, Boa Vista, v. 5, n. 2, p. 88-96, ago. 2011.

LOPES, Matheus Reis et al. Variabilidade espacial da erosividade da chuva para o Estado da Bahia. In: III SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2013, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: Sgea, 2013. p. 1-5.

McGREGOR, K.C.; MUTCHLER, C.K.; JOHNSON, J.R. & POGUE, D.E. **USDA and MAFES: cooperative soil conservation studies at Holly Springs - 1956-1996**. Mississippi State, MAFES, 1996. 21p. (Bulletin,

1044).

MANNIGEL, Anny Rosi et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.L.], v. 24, p. 1335, 30 abr. 2008. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2374>.

MARQUES, J. F. Custos da erosão do solo em razão dos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 36, n. 1, p. 61-79, jan./mar., 1998.

MARQUES, João Fernando et al. PERDAS DE SOLO E VALORAÇÃO ECONÔMICA. **Rev. Cient. Rural**, Bagé, v. 10, n. 1, p. 48-53, 2005.

MARTIM, C.C.; PAULISTA, R.S.D.; BORELLA, D.R.; ALMEIDA, F.T.d.; DAMIAN, J.G.R.; TERAMOTO, É.T.; Souza, A.P.d. Machine Learning in Estimating Daily Global Radiation in the Brazilian Amazon for Agricultural and Environmental Applications. **AgriEngineering** 2025, 7, 216. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7070216>.

MEDEIROS, Grasiela de Oliveira Rodrigues et al. Diagnosis of the Accelerated Soil Erosion in São Paulo State (Brazil) by the Soil Lifetime Index Methodology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 40, p. 1-15, 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20150498>.

MELLO, Gláucia de. **Variabilidade espacial de atributos do solo em áreas intensamente cultivadas nas regiões de Jaboticabal e Monte Alto - SP**/ Gláucia de Mello. – – Jaboticabal, 2002 ix, 78 f. : il. ; 28 cm.

MENDIETA, Fernando Mateus Paniagua. **Variabilidade espacial dos componentes da produção do milho e a correlação com a produtividade**. / Fernando Mateus Paniagua Mendieta. – Dourados, MS : UFGD, 2022.

MENDONÇA, Francisco. **Climatologia : noções básicas e climas do Brasil** / Francisco Mendonça, Inês Moresco Danni-Oliveira São Paulo : Oficina de Textos, 2007.

MENEZES, V.B.B.. ÍNDICE DE EROSIVIDADE DO TERRITÓRIO DE IDENTIDADE PORTAL DO SERTÃO-BA. **Territorialidades da Agricultura Brasileira**, [S.L.], p. 81-93, 2022. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/220308153>.

MERTEN, G. H.; CAVIGLIONE, J. H.; CIACOMINI, D. C.; RUFINO, R.L.; MEDEIROS, G.; SAINTRAINT, D.; RIBAS G. C.; DEDECEK, R.; KESSLER, C. A. **El uso del SIG del modelo USLE para determinar mapas de erosion potencial y actual en las microcuencas pilotos de Água Grande y Córrego do Pensamento, Mamborê, Paraná, Brasil**. Santiago, Chile: Proyecto Regional GCP /RLA /107 / JPN. 1995. (FAO. Documento de Campo, 6). 43 p.

MIQUELONI, Daniela Popim et al. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 18-28, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4528029>.

NACHTIGALL, Stefan Domingues et al. Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Eng. Sanit. Ambient**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 6, p. 933-946, dez. 2020.

NACHTIGALL, Stefan D. et al. Prediction of soil fertility properties in Southern Brazil via proximal sensing. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 97, n. 2, p. 1-23, 2025. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765202520250075>.

MIQUELONI, Daniela Popim et al. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1358-1367, set. 2012.

MONTEBELLER, Claudinei A. et al. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 426-435, ago. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162007000300011>.

OLEA, R. A. **Geostatistics for engineers and Earth scientists**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999. 303 p.

OLIVEIRA, Nilton de. **Caracterização físico-ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho Trapiá/Jacutinga, Recôncavo Sul – BA**. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2003.

OLIVEIRA, Antonio Marcos Machado de et al. CARACTERIZAÇÃO DE INDICADORES DA EROSÃO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM O SUPORTE DE GEOTECNOLOGIAS E MODELO PREDICTIVO. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 5, n. 1, p. 63-86, set. 2007.

OLIVEIRA, P.T.S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management**, v.25, p.1021-1036, 2011a.

OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches de et al. Zoneamento ambiental aplicado à conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 35, n. 5, p. 1723-1734, out. 2011b. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832011000500027>.

OLIVEIRA, Ulisses Costa de et al. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACOLOMI, CEARÁ, BRASIL. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 27, n. 27, p. 977-989, abr. 2023.

PAIVA, Hanna Paula Sales. **Caracterização petrográfica, geoquímica e geocronológica U-PB das rochas de alto grau metamórfico do Complexo Tartarugal Grande, sudeste do Escudo das Guianas, Amapá**. Orientador: Paulo Sérgio de Sousa Gorayeb. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

PEIXOTO, Isabella. **Movimentos de massa: tombamento de blocos, rastejos....** 9 jan. 2022. Disponível em: <https://igeologico.com.br/processos-de-dinamica-superficial-movimentos-de-massa/>. Acesso em: 9 jan. 2025.

PEREIRA, L. C.; TOSTO, S. G.; ROMEIRO, A. R. **Uso das terras: perdas de solo por erosão e valoração econômica**. In: SEABRA, G. (Org.). Terra: mudanças climáticas e biodiversidade. Ituiutaba: Barlavento, 2019. p. 929-943.

PEREIRA, Marcelo Divino Ribeiro et al. Perda de Solo no Alto Curso das Bacias Hidrográficas dos

Ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçuzinho, Palmas (TO). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 332-339, 20 abr. 2021. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbqf.v14.1.p332-339>.

PEREIRA, G.W.; VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.d.; COELHO, A.L.d.F.; COSTA, M.M.; GRIFT, T. Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. **Agronomy** 2022, 12, 1350. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>.

PESSANHA, M.S., DOS SANTOS, L.M., LYRA, G.B. et al. Interpolation methods applied to the spatialisation of monthly solar irradiation in a region of complex terrain in the state of Rio de Janeiro in the southeast of Brazil. **Model. Earth Syst. Environ.** 7, 1565–1578 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00878-8>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15ª ed. Piracicaba: FEALQ, 2023. 451 p.

PISSARRA, T. C.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J.; ROSALEN, D.; IHA, D. Avaliação por fotointerpretação do uso/ocupação do solo e erosão acelerada em microbacias hidrográficas utilizando sistemas de informação geográfica. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12, 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, 2005. CD-Rom.

PRASANNAKUMAR, V.; VIJITH, H.; ABINOD, S.; GEETHA, N. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. **Geoscience Frontiers**, v. 3, n. 2, p. 209-215, 2012.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G G; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo - 5 aproximação**. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

PRIMAVESI, Ana Cândida. **Transformação de unidades de representação de resultados de análise de solo**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2000. 22p. ; 21 cm. - (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 28).

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. 1999. **Material Didático: arquivos de transparências (CD)**. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada.

ROSSATTO, Felipe Copceski et al. Recurrent Neural Networks applied to short-term weather forecasting using radar images from the city of Chapecó, SC, Brazil. **Ciência e Natura**, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 1-15, 4 nov. 2024. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x87262>.

SANTANA, Sandoval Oliveira de et al. **Solos da região Sudeste da Bahia: atualização da legenda de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos**. Ilhéus: CEPLAC; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 16).

SANTOS, Danívio Batista Carvalho dos. **Uso de SIG em estudo etnopedológico na Região do Timbó, Vale do Jiquiriçá, Bahia**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, BA, 2011.

SANTOS, Railton O. dos et al. Spatial variability of soil fertility and its relation with cocoa yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 88-93, fev. 2017. FapUNIFESP

(SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n2p88-93>.

SANTOS, José Yure Gomes dos et al. EFEITOS DAS ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS PERDAS DE SOLO DA BACIA DO RIO DE JANEIRO, OESTE DA BAHIA. **Boletim Goiano de Geografia**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 1-23, 13 dez. 2021. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/bgg.v41.65397>.

SEIDEL, Enio Júnior et al. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 699-705, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832014000300002>.

SELA, Guy. **Understanding the units on the soil test report**. Cropaia, 15 abr. 2025. Disponível em: https://cropaia.com/blog/soil-test-units/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 28 out. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Carta geológica da folha SD.24-V-D-II (Amargosa – BA): litoestratigrafia**, escala 1:100.000. Brasília: SGB, 2009. Disponível em: <https://geoportal.sgb.gov.br/geosgb/>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SINGH, D., SINGH, N., SINGH, H. et al. Biological and mechanical measures for runoff and soil erosion control in India and beyond. **Discov Appl Sci** 7, 693 (2025).

SILVA, Lucas Manoel da et al. AVALIAÇÕES DIRETAS E INDIRETAS DA ERODIBILIDADE DE SOLOS DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S.L.], p. 215-229, 1 out. 2021. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2id19109>.

SILVA NETO, Virgílio Lourenço et al. Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 32, p. 141-160, 16 mar. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v32-2020-46182>.

SILVA, Henrique Gabriel da et al. Análise espacial dos atributos químicos do solo e geração de mapas de aplicação de fertilizantes e corretivos na Cultura do Café. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 12, p. 1-21, 23 set. 2022a. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34997>.

SILVA, R.K et al. Mapeamento e análise da erosividade da chuva na sub-bacia do Alto Paraíba (Paraíba). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S.L.], p. 13-25, 5 out. 2022b. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.7150464>.

SOUSA, F.R.C., PAULA, D.P., 2019. **Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Cerará-Brasil)**. Revista Brasileira de Geomorfologia.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO**, 4, Marília. Anais, Marília, p. 105-135.1987.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). **Balanco hídrico climatológico do estado da Bahia (1990-2020)**. Salvador: SEI, 2023. 532 p. il. (Série estudos e pesquisas, 108).

TOLENTINO, Alan Hakinen Aquino et al. Perda de solo na bacia do rio São Lamberto com uso de séries temporais de imagens Landsat. **Agrarian**, Dourados, v. 49, n. 13, p. 362-376, set. 2020.

Tominaga, Lídia Keiko; Santoro, Jair; Amaral, Rosangela do (Orgs) **Desastres naturais: conhecer para prevenir** / Organizadores Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosangela do Amaral – 3a ed. - São Paulo : Instituto Geológico, 2015. 196 p. : il. ; color. ; 24

TOY, T.J.; FOSTER, G.R.; RENARD, K.G. **Soil erosion**: processes, prediction, measurement, and control. New York: Willey, 2002. 338p.

UEMA, Diogo Yukio et al. COMPARAÇÃO DA PERDA DE SOLOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE DIFERENTES ESCALAS ATRAVÉS DA EUPS NO NOROESTE DO PARANÁ. **Geofronter**, [S.L.], v. 9, p. 01-20, 23 mar. 2023. State University of Mato Grosso do Sul. <http://dx.doi.org/10.61389/geofronter.v9i1.7370>.

WALTON, R.S.; VOLKER, R.E.; BRISTOW, K.L.; SMETTEM, K.R.J. Experimental examination of solute transport by surface runoff from low-angle slopes. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.233, n.1-4, p.19-36, 2000.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Rainfall energy and its relationships to soil loss**. Transactions of the American Geophysical Union. v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958, <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation**. Washington, DC: USDA, 1965. 47p. Agricultural Handbook 282.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosive losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).

XIONG, Muqi et al. Global Analysis of the Cover-Management Factor for Soil Erosion Modeling. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 15, n. 11, p. 2868-2888, 31 maio 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs15112868>.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística : conceitos + aplicações**. São Paulo : Oficina de Textos, 2013.

Yoo, R. S.; Carmichael, R. C.; Hoehn, R. C.; Hrudey, S. E. **Cyanobacterial (blue-green algal) toxins: a resource guide**. AWWA Research Foundation, Denver, 1995. 229p.

ZHANG, Xinyu et al. Quantifying the effects of the soil erosion factors on water-eroded slopes. *Catena*, [S.L.], v. 249, p. 108678, fev. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2024.108678>.

ANEXOS

ANEXO 1 - Documento de solicitação de uso de dados

14/11/2024, 08:07

Município de Amargosa | 1Doc



Memorando 10.414/2024

Responder apenas via 1Doc



Danilo L. SEAGRI-DATER

Para

SEAGRI - Secreta...

CC

2 setores envolvidos

SEAGRI-DATER SEAGRI

12/11/2024 09:31

Solicitação de acesso aos laudos de análise química e física dos produtores rurais

Prezado, segue em anexo o ofício de solicitação de acesso para fins acadêmicos dos laudos de análise química e física dos produtores rurais atendidos pela SEAGRI.

Danilo Silva Leite

Diretor de Assistência Técnica e Extensão Rural



Quem já visualizou?

2 ou mais pessoas

12/11/2024 09:31:43

Danilo Silva Leite SEAGRI-DATER solicitou a assinatura de **Igor Brito Santa Rosa** em Memorando 10.414/2024 .

Cancelada

12/11/2024 09:32:10

Danilo Silva Leite SEAGRI-DATER assinou digitalmente **Memorando 10.414/2024** com o certificado **DANILO SILVA LEITE** CPF 033.XXX.XXX-54 conforme [MP nº 2.200/2001](#) .

Despacho 1- 10.414/2024

12/11/2024 13:58 (Respondido)

Igor R. SEAGRI

Envolvidos internos acompanhando

CC

Prezado,

Autorizo o fornecimento das informações solicitadas.

—

Igor Brito Santa Rosa

Secretário de Agricultura e Meio Ambiente

Quem já visualizou?

2 ou mais pessoas

12/11/2024 13:58:41

Igor Brito Santa Rosa SEAGRI arquivou.

12/11/2024 14:00:45

Igor Brito Santa Rosa SEAGRI reabriu para resolução.

12/11/2024 14:30:56

Danilo Silva Leite SEAGRI-DATER realizou o **cancelamento** da solicitação de assinatura de **Igor Brito Santa Rosa** em Memorando 10.414/2024.

13/11/2024 13:29:23

Igor Brito Santa Rosa SEAGRI arquivou.

14/11/2024, 08:07

Município de Amargosa | 1Doc

Município de Amargosa - Praça Lourival Monte S/ N° Centro, Amargosa - BA 45300-000 • 1Doc • www.1doc.com.br

Impresso em 14/11/2024 08:09:30 por Danilo Silva Leite - Diretor de Ater

1Doc

https://amargosa.1doc.com.br/?pg=doc/ver&hash=3040CF7C9250E1E6F8C86224&itd=1&origem=painel_setor

3/3

Figura 50. Documento de solicitação de uso referente aos dados de solo da Prefeitura Municipal de Amargosa.
Fonte: SEAMA, 2024.

ANEXO 2 - Amostras físicas (textura) do solo da área estudada

Tabela 41. Base de dados da SEAMA (2023) utilizados na pesquisa, sendo Fator K e Densidade do Solo calculados a partir deles

Nº	Profundidade	pH	Areia Total	Silte	Argila	Fator K t.ha.h (ha.MJ.mm) ⁻¹	Densidade do Solo Kg dm ⁻³
19	0-20	4,10	746	60	260	0,0310	0,8850
51	0-20	4,86	626	97	277	0,0261	0,8060
25	0-20	5,34	663	90	247	0,0305	0,8010
47	0-20	6,10	662	60	278	0,0260	0,7070
1	0-20	5,40	668	55	277	0,0261	0,7640
73	0-20	4,37	669	80	251	0,0298	0,8740
3	0-20	5,70	653	89	258	0,0288	0,7610
67	0-20	4,34	654	77	269	0,0272	0,8560
63	0-20	5,69	685	62	258	0,0290	0,7620
13	0-20	4,15	643	80	277	0,0261	0,8620
41	0-20	5,30	685	65	250	0,0300	0,8010
45	0-20	4,74	623	97	280	0,0257	0,8130
44	0-20	5,10	703	81	216	0,0363	0,8550
19	0-20	4,56	695	70	235	0,0326	0,8760
22	0-20	4,65	654	76	270	0,0270	0,8310
5	0-20	5,70	647	70	283	0,0253	0,7330
13	0-20	4,40	678	78	244	0,0310	0,8790
27	0-20	4,71	562	140	250	0,0281	0,8480
17	0-20	5,54	697	76	227	0,0341	0,8080
20	0-20	4,26	669	68	263	0,0280	0,8690
3	0-20	5,24	622	89	289	0,0246	0,7630
29	0-20	5,63	703	75	222	0,0351	0,8060
31	0-20	4,20	690	75	235	0,0326	0,9050
4	0-20	5,00	686	65	249	0,0302	0,8260
15	0-20	4,76	676	68	256	0,0291	0,8370
16	0-20	5,30	673	70	257	0,0289	0,7940
7	0-20	5,56	685	65	250	0,0300	0,7810
43	0-20	5,00	666	65	269	0,0272	0,8040
21	0-20	4,40	703	81	216	0,0363	0,9100
28	0-20	4,43	738	68	204	0,0395	0,9210
18	0-20	5,43	673	80	247	0,0305	0,7940

Fonte: Adaptado de SEAMA (2023)

ANEXO 3 - Amostras químicas do solo da área estudada

Tabela 42. Base de dados da SEAMA (2021) utilizados na pesquisa

Registro	Profundidade	P (mg dm ⁻³)	K (Cmol _c dm ⁻³)	Ca (Cmol _c dm ⁻³)	M,O (g/kg)
3555	0-20 cm	4,60	0,06	1,80	17
3557/Area 1	0-20 cm	5,00	0,24	1,60	21
3559/Area 2	0-20 cm	5,50	0,16	2,20	20
3561/Area 3	0-20 cm	5,70	0,12	2,10	20
3563	0-20 cm	4,30	0,07	0,70	25
3564	0-20 cm	3,90	0,08	1,20	25
3565	0-20 cm	4,00	0,13	1,50	25
3567	0-20 cm	4,10	0,07	1,60	25
9 - A	0-20 cm	16,70	0,11	3,00	20
10 - A	0-20 cm	2,90	0,17	2,50	25
11 - A	0-20 cm	6,00	0,10	2,60	26
12 - A	0-20 cm	3,20	0,16	2,60	22
14517	0-20 cm	6,60	0,06	1,90	18
33092	0-20 cm	15,20	0,16	1,60	24
33098	0-20 cm	15,70	0,10	2,70	23
33099	0-20 cm	19,50	0,13	1,50	25
33100	0-20 cm	15,20	0,12	1,40	18
33094	0-20 cm	25,20	0,10	2,30	28
33095	0-20 cm	57,70	0,21	2,90	32
33096	0-20 cm	32,00	0,23	3,50	36
33097	0-20 cm	17,10	0,13	1,60	25
33110	0-20 cm	14,80	0,31	1,40	21
33111	0-20 cm	15,20	0,12	0,70	10
44003	0-20 cm	28,40	0,12	2,60	29
44005	0-20 cm	14,10	0,05	0,40	17
53314	0-20 cm	9,10	0,36	4,00	17
53312	0-20 cm	7,50	0,11	2,50	13
53316	0-20 cm	3,90	0,19	2,00	15
53304	0-20 cm	5,00	0,11	1,60	16
53294/Cacau Velho	0-20 cm	4,10	0,26	2,80	15
53296/Cacau Novo	0-20 cm	3,70	0,08	2,70	17
53298	0-20 cm	4,00	0,06	2,40	14
53300	0-20 cm	4,50	0,05	1,40	11
57345	0-20 cm	4,10	0,17	1,80	17
57346	0-20 cm	4,70	0,02	1,40	14
57351	0-20 cm	5,80	0,08	2,20	20
57349	0-20 cm	9,10	0,20	1,60	18
13 - D	0-20 cm	2,80	0,18	2,10	24
14 - D	0-20 cm	2,30	0,10	1,80	20

Fonte: Adaptado de SEAMA (2021).