

UFRRJ

PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO,
LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Modelo Digital de Elevação (MDE) e Suas
Covariáveis na Análise da Paisagem de Balsas,
Maranhão

Fernando José Pereira Ferreira

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO,
LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS

Modelo Digital de Elevação (MDE) e Suas
Covariáveis na Análise da Paisagem de Balsas,
Maranhão

FERNANDO JOSÉ PEREIRA FERREIRA

Sob a supervisão do Professor

Gustavo Souto Perdigão Granha

Professor Drº da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido como requisito para obtenção
do título de **Especialista** em
Geoprocessamento, Levantamento e
Interpretação de Solos.

Seropédica, RJ
Julho de 2025



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos

UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA



Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Fm

Ferreira, Fernando José Pereira, 1992-

Modelo Digital de Elevação (MDE) e Suas Covariáveis na Análise da Paisagem de Balsas, Maranhão / Fernando José Pereira Ferreira. - São Luís, 2025.

29 f.: il.

Orientador: Gustavo Souto Perdigão Granha.

Monografia (Especialização). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos, 2025.

1. Geoprocessamento. I. Granha, Gustavo Souto Perdigão, 1975-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos III. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do

É permitida a cópia parcial ou total deste documento, desde que seja citada a fonte.



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos

UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO, LEVANTAMENTO
E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS**

FERNANDO JOSÉ PEREIRA FERREIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi submetido como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos.

TCC APROVADO EM 17 de JULHO de 2025.

Prof. Gustavo Souto Perdigão Granha
(Supervisor)
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof.(a) Niriele Bruno Rodrigues
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof.(a) Vitor Oliveira de Vasconcelos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, por sempre estarem comigo em todos os momentos bons e ruins da minha vida, a minha noiva por estar sempre ao meu lado nos bons e mal momentos e ser sempre minha companheira, aos meus irmãos e ao meu filho(a) que logo estará comigo.



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos

UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA



AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força nos momentos de alegria e nos momentos de fraqueza;

Aos meus pais, Carlos Alberto e Sônia Maria por ter me proporcionado uma excelente educação e muita perseverança;

Aos meus irmãos, Eduardo José e Lucas José por serem meus companheiros;

A minha noiva Palloma de Castro, por ser incrível e sempre me dar forças e nunca me deixar desistir em momentos difíceis; e em especial a minha filha que está chegando.

E pôr fim ao meu orientador por ser extremamente paciente e me ajudar a superar as dificuldades do trabalho.



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA



BIOGRAFIA

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual do Maranhão (2021). Atualmente possui Pós-graduação em nível de especialização em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), e Mestrado em Agronomia - Ciência do solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Além de estar com o Doutorado em andamento pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, na área de Fisiologia Vegetal. Além de possuir Curso Técnico em Química pelo Instituto Federal do Maranhão (2015).



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFMG - UFV - UFPA



RESUMO

FERREIRA, Fernando José Pereira. **Modelo Digital de Elevação (MDE) e Suas Covariáveis na Análise da Paisagem de Balsas, Maranhão 2025**. xxf. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos). Pró-reitoria de Extensão, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) oferecem diversas ferramentas para lidar com a dimensionalidade dos dados, mas apresentam limitações, como a de não incorporarem a variabilidade topográfica na distribuição espacial. Diante dessas limitações nas análises baseadas em observações em superfícies planimétricas, torna-se essencial o uso de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), que possibilitam o fornecimento de informações sobre distâncias, áreas e volumes por meio de uma modelagem tridimensional. Um MDE fornece dados espaciais valiosos para a modelagem e análise da superfície terrestre e pode ser obtido por meio de processos como fotogrametria, cartas topográficas e sensores diversos. Diante disto, os MDEs são fundamentais para entender o comportamento geomorfológico das bacias hidrográficas. Eles permitem a identificação de áreas suscetíveis à erosão e ajudam na elaboração de políticas públicas externas à conservação dos recursos naturais e em questões de sustentabilidade. Os resultados evidenciam que essas variáveis oferecem suporte técnico valioso para o planejamento territorial, a conservação ambiental e a tomada de decisão em contextos agrícolas e hidrológicos. Áreas de maior risco à erosão, potencial de saturação hídrica ou restrições ao uso mecanizado puderam ser identificadas e espacializadas com precisão, demonstrando a aplicabilidade direta do produto gerado. A integração entre MDEs e SIGs mostrou-se uma abordagem eficiente e replicável, especialmente em regiões onde há forte pressão sobre os recursos naturais e necessidade de uso racional da terra. Assim, a modernização da agricultura em Balsas busca adaptar as propriedades rurais aos novos tempos, com o objetivo de gerar produtos de interesse agroindustrial além disso, de fornecer produtos como mapas da região para o público em geral, por meio desta tecnologia que é de extrema importância no dimensionamento de qualquer estudo. Desse modo os MDEs são ferramentas versáteis que fornecem informações essenciais sobre o assunto, facilitando análises geoespaciais mais precisas, eficientes e aplicáveis, por isso, são ferramentas essenciais para o planejamento e gestão em Balsas, contribuindo significativamente para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável na região.

Palavras-chave: Solos. Processos erosivos. Geoprocessamento



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFPA - UFV - UFRA



ABSTRACT

FERREIRA, Fernando José Pereira. **Digital Elevation Model (DEM) and Its Covariates in the Landscape Analysis of Balsas, Maranhão**. 2025. xxp. Trabalho de Conclusão de Curso (Specialization in Geoprocessing, Soil Survey and Interpretation). Pró-reitoria de Extensão, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

Geographic Information Systems (GIS) offer various tools to deal with data dimensionality, but they have limitations, such as not incorporating topographic variability in spatial distribution. Given these limitations in analyses based on observations on planimetric surfaces, the use of Digital Elevation Models (DEMs) becomes essential, as they provide information on distances, areas, and volumes through three-dimensional modeling. A DEM provides valuable spatial data for modeling and analyzing the Earth's surface and can be obtained through processes such as photogrammetry, topographic maps, and various sensors. Therefore, DEMs are fundamental for understanding the geomorphological behavior of watersheds. They allow the identification of areas susceptible to erosion and assist in the development of public policies aimed at the conservation of natural resources and sustainability issues. The results show that these variables offer valuable technical support for territorial planning, environmental conservation, and decision-making in agricultural and hydrological contexts. Areas with higher erosion risk, potential for water saturation, or limitations to mechanized use were identified and spatialized with precision, demonstrating the direct applicability of the generated product. The integration between DEMs and GIS proved to be an efficient and replicable approach, especially in regions under strong pressure on natural resources and with the need for rational land use. Thus, the modernization of agriculture in Balsas seeks to adapt rural properties to current demands, aiming to generate products of agro-industrial interest and also to provide outputs such as regional maps to the general public, through a technology that is extremely important for the spatial scaling of any study. In this way, DEMs are versatile tools that provide essential information on the topic, facilitating more precise, efficient, and applicable geospatial analyses. Therefore, they are essential tools for planning and management in Balsas, significantly contributing to environmental conservation and sustainable development in the region.

Keywords: Soils. Erosive processes. Geoprocessing.



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização do município de Balsas/MA.....	17
Figura 2 – Chuva mensal média em Balsas.....	18
Figura 3 – Modelo digital de elevação de Balsas/MA.....	20
Figura 4 – Covariável slope referente a Balsas/MA.....	22
Figura 5 – Covariável LS-Factor referente a Balsas/MA.....	23
Figura 6 – Covariável Valley Depth referente a Balsas/MA.....	24
Figura 7 – Covariável Channel Network Distance (CND) referente a Balsas/MA.....	26
Figura 8 – Covariável TWI referente a Balsas/MA.....	27

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APP – Área de Preservação Permanente

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CND – Channel Network Distance (Distância até a Rede de Drenagem)

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

DEM – Digital Elevation Model (Modelo Digital de Elevação)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LS – Length and Slope Factor (Fator de comprimento e declividade da rampa da equação USLE)

MA – Maranhão

MDE – Modelo Digital de Elevação

QGIS – Quantum Geographic Information System

SAGA GIS – System for Automated Geoscientific Analyses

SCA – Specific Catchment Area (Área de Captação Específica)

SIG – Sistema de Informações Geográficas

TIN – Triangulated Irregular Network

TWI – Topographic Wetness Index (Índice de Umidade Topográfica)

USLE – Universal Soil Loss Equation

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA



SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	13
2. JUSTIFICATIVA	15
3. APLICABILIDADE	17
3.1 Área de estudo	17
3.2 Dados geoespaciais	18
3.3 Análise dos dados	18
4. PROTÓTIPO	20
4.1 Covariáveis de estudo	21
5. RECOMENDAÇÕES DE APLICAÇÃO	28
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA



1. APRESENTAÇÃO

A utilização de tecnologias geoespaciais tem se mostrado fundamental para o planejamento e gestão territorial, especialmente em regiões onde a atividade econômica e a conservação ambiental demandam análises precisas e integradas. O Modelo Digital de Elevação (MDE) é um produto cartográfico digital elaborado a partir de um modelo matemático, que estrutura de forma adequada, em malha contínua, as informações planialtimétricas da superfície terrestre (Ferreira, 2014; DSG, 2015; Morais, 2017). Nesse contexto, os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) emergem como ferramentas essenciais, superando as limitações dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) ao incorporar a variabilidade topográfica na análise espacial. Este projeto tem como foco a aplicação dessas tecnologias no município de Balsas, no Maranhão, uma região que se destaca como um importante polo agrícola, especialmente na produção de soja, mas que também enfrenta desafios relacionados à erosão, gestão hídrica e sustentabilidade ambiental. Então este estudo concentra-se na integração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) para aprimorar a gestão ambiental e o planejamento agrícola. Os MDEs permitem uma modelagem tridimensional do terreno, fornecendo informações cruciais sobre distâncias, áreas, volumes e dinâmicas geomorfológicas, como a identificação de áreas suscetíveis à erosão e o mapeamento de bacias hidrográficas. Essas informações são vitais para a tomada de decisões no setor agrícola e para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação dos recursos naturais e ao desenvolvimento sustentável. VALLADARES (2005).

Deste modo, a pesquisa, justifica-se pela relevância econômica da região, que é um dos principais polos de produção de soja no estado, e pela necessidade de modernização das práticas agrícolas em consonância com a conservação ambiental. A Bacia do Rio Balsas, que abrange a área de estudo, apresenta características topográficas e geomorfológicas que demandam análises detalhadas para o planejamento sustentável. Além disso, a região enfrenta desafios como a erosão do solo e a gestão hídrica, problemas que podem ser mitigados com o uso de tecnologias geoespaciais avançadas, como os MDEs. A aplicação dessas ferramentas em Balsas tem o potencial de contribuir significativamente para o desenvolvimento sustentável da região, alinhando a produção agrícola à preservação dos recursos naturais. Para Guerra e Marçal (2006) a Geomorfologia tem um papel fundamental para o estudo da erosão dos solos, nesse sentido

os autores ainda concordam com a prerrogativa de que é pouco provável que seja possível diagnosticar com segurança as áreas susceptíveis a processos erosivos, sem o conhecimento mais aprofundado da morfologia do terreno e de seus processos associados. Este estudo abrange o período recente, com foco nas transformações ocorridas na agricultura e no uso de tecnologias geoespaciais nos últimos anos.

Além disso, o recorte temporal permite avaliar como as políticas públicas e as práticas agrícolas têm evoluído para incorporar tecnologias que promovam a conservação ambiental e o desenvolvimento econômico equilibrado. A topografia da região, caracterizada por planícies e planaltos, influencia diretamente processos ambientais críticos, como o escoamento hídrico, a erosão do solo e a distribuição de ecossistemas. Alguns estudos mostram que para o mapeamento digital de solos na região de Toowoomba, na Austrália, Bui et al. (1999) utilizaram um modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 250 metros para extrair parâmetros como declividade, aspecto, curvaturas em perfil, em planta e tangencial, além da área de contribuição. Em um estudo diferente, Chagas (2006) aplicou técnicas de mineração de dados, como redes neurais artificiais e máxima verossimilhança, para prever classes de solos em áreas de mar de morros e alinhamentos serranos no noroeste do Estado do Rio de Janeiro, baseando-se em conceitos de associações entre solo e paisagem.

Algumas lacunas técnicas dificulta a obtenção de dados precisos sobre a superfície terrestre, essenciais para o planejamento agrícola sustentável e a conservação ambiental. Diante desse cenário, surge a seguinte questão-problema: Como a integração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) pode superar as limitações das análises planimétricas e contribuir para uma gestão ambiental mais eficiente e um planejamento agrícola sustentável na região de Balsas, no Maranhão?

2. JUSTIFICATIVA

A adoção de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em conjunto com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) é essencial, especialmente no contexto da Bacia do Rio Balsas, no Maranhão. Embora os SIGs ofereçam uma gama de ferramentas para o gerenciamento e análise de dados espaciais, eles apresentam limitações específicas, particularmente na incorporação da variabilidade topográfica na distribuição espacial. Essa limitação é crítica, pois a topografia influencia diretamente vários processos ambientais, como escoamento hídrico, erosão e distribuição de ecossistemas. Portanto, a integração dos MDEs se torna necessária para superar essas barreiras e fornecer uma análise mais precisa e abrangente das dinâmicas territoriais.

A Contribuição para a sustentabilidade e conservação ambiental, mostra que a Bacia do Rio Balsas é uma região com intensa atividade agrícola, destacando-se como um polo de produção de soja no sul do Maranhão. A modernização da agricultura local exige uma abordagem que não apenas maximize a produtividade, mas que também respeite as características ambientais da região. O uso de MDEs pode facilitar essa transição ao fornecer dados cruciais para o planejamento agrícola sustentável. Com informações precisas sobre a relevância e suas implicações para o escoamento hídrico e a erosão do solo, os agricultores podem tomar decisões mais informadas sobre onde plantar e como gerenciar suas propriedades. Além disso, os MDEs são fundamentais para a formulação de políticas públicas que promovam práticas agrícolas sustentáveis. Ao permitir a visualização das interações entre diferentes fatores ambientais e humanos, esses modelos podem auxiliar na identificação de áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental. Por exemplo, as informações obtidas através dos MDEs podem ser utilizadas para criar mapas de risco que ajudam na mitigação de desastres naturais, como inundações ou penetração da terra.

Em suma, os Modelos Digitais de Elevação são ferramentas versáteis e indispensáveis para a análise geoespacial em Balsas. Eles não apenas superam as especificações dos SIGs em relação à variabilidade topográfica, mas também fornecem informações essenciais que facilitam análises mais precisas e aplicáveis. A integração dos MDEs nas práticas agrícolas e nas políticas públicas contribuirá significativamente para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável da região. Portanto, investir nessa tecnologia é um passo fundamental para garantir um futuro equilibrado entre desenvolvimento econômico e proteção dos recursos naturais em Balsas – MA.

O Maranhão, situado em uma área de transição entre os climas semiárido do interior nordestino e o úmido equatorial da Amazônia, apresenta variações climáticas e de previsão devido à sua maior extensão no sentido norte-sul. Na parte oeste do estado, prevalece o clima tropical quente e úmido (As), característico da região amazônica. Nas demais áreas, o clima é tropical quente e semiúmido (Aw). As temperaturas médias anuais em todo o Maranhão superam 24°C, alcançando até 26°C na região norte. O estado possui um padrão pluviométrico com duas estações bem definidas: a estação chuvosa, que ocorre de dezembro a maio, registra uma média de 290,4 mm, com picos de precipitação em março; enquanto a estação seca, que vai de junho a novembro, apresenta uma média de apenas 17,1 mm em agosto. Feitosa (1983) classifica a relevo do Maranhão em duas grandes unidades: as planícies, que se subdividem em unidades menores (costeira, flúvio-marinha e sublitorânea), e os planaltos. As planícies ocupam cerca de 60% da área total do estado, enquanto os planaltos representam 40%.

As planícies são definidas como superfícies com altitudes abaixo de 200 metros, enquanto os planaltos têm altitudes superiores a 200 metros e estão localizados principalmente na região centro-sul. Valladares et al. (2005) descrevem as formas de relevo maranhense de maneira simplificada como chapadas altas e baixas, superfícies onduladas, grande baixada maranhense, terraços e grades fluviais, tabuleiros costeiros, restingas e dunas.

O zoneamento ambiental é considerado por Martins (2013) e Carvalho (2014) como uma ferramenta crucial para o ordenamento territorial, promovendo uma ocupação sustentável e prevenindo a gestão do solo por processos erosivos. A erosão resulta também da alteração da paisagem quando não são levadas em conta as características locais. Araújo, Almeida e Guerra (2014) alertam que o risco de erosão é influenciado por fatores naturais e atividades humanas que podem remover a vegetação, além das condições climáticas e físicas do local que podem aumentar a vulnerabilidade à erosão.

Estudos indicam que Modelos Digitais de Elevação (MDE), obtidos por vetorização e interpolação de curvas de nível a partir de folhas topográficas ou dados aéreos e orbitais, são essenciais para a delimitação de bacias hidrográficas (DIAS et al., 2004; FURNANS, 2001).

Existem vários métodos de interpolação para gerar MDEs. Estes podem ser construídos usando graus retangulares regulares, como o Topogrid Hutchinson (1989), ou através da interpolação de dados vetoriais utilizando redes triangulares irregulares (Triangulated Irregular Network - TIN) (Câmara et al., 2001). O MDE possibilita não apenas uma visualização tridimensional do terreno, mas também a proteção de informações úteis para modelagem hidrológica, como direção do fluxo superficial, rede de drenagem, divisores das bacias

hidrográficas, orientação e orientação das seções (Jenson & Domingue, 1988; Fairfield & Leymarie, 1991; ANA, 2007).

3. APLICABILIDADE

3.1 Área de estudo:

O município de Balsas localiza-se na parte sul do Maranhão (Figura 1), integrando a microrregião dos Gerais de Balsas, sendo Balsas a cidade principal. Limita-se com os municípios Riachão, São Raimundo das Mangabeiras, Fortaleza dos Nogueiras, Tasso Fragoso, Alto Parnaíba, Nova Colinas, Sambaíba e Recursolândia TO. Possui uma área de 13.141,733 km² uma população estimada de aproximadamente 101.767 habitantes e uma densidade demográfica de 7,74 habitantes km² segundo dados do IBGE (2022).

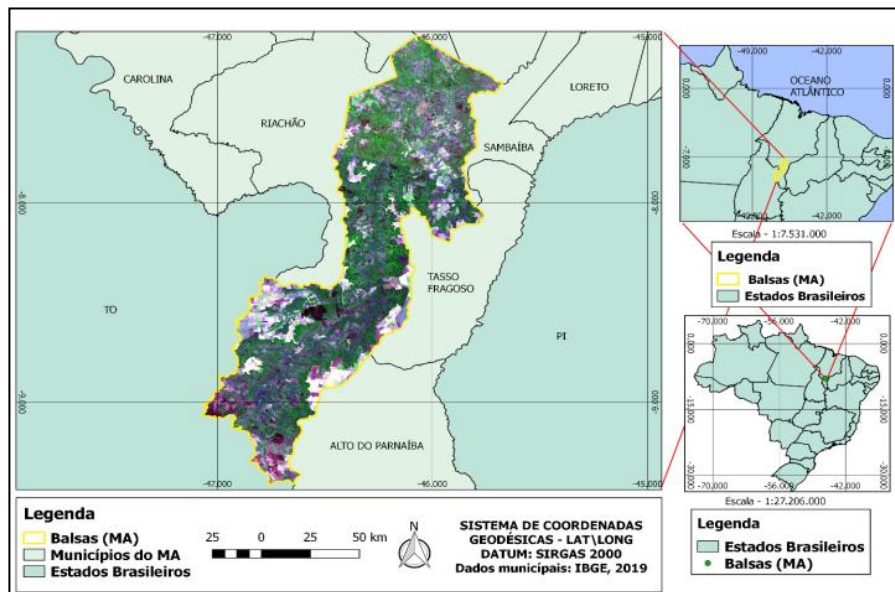


Figura 1 - Mapa de localização do município de Balsas/MA

Balsas, situada no sul do Maranhão, apresenta um clima tropical semiúmido, com uma estação chuvosa bem definida, quando ocorre a maior parte da precipitação anual, que varia entre 1.200 e 1.400 mm INMET (2021). Esse regime pluviométrico é influenciado principalmente pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que transporta umidade da região amazônica, e por sistemas frontais que ocasionalmente atingem a área. As chuvas são fundamentais para a agricultura, base econômica da região, mas também podem

causar impactos negativos, como enchentes e erosão, quando ocorrem de forma intensa e concentrada CPTEC/INPE (2020).

Abordando a precipitação de chuva acumulada (Figura 2) durante um período contínuo de 31 dias ao redor de cada dia do ano. De maneira que, Balsas tem variação sazonal extrema na precipitação mensal de chuva. O período chuvoso dura entre 8 e 9 meses, de setembro a junho, com precipitação de chuva de 31 dias contínuos com mínima de 13 milímetros. O mês mais chuvoso em Balsas é janeiro, com média de 182 milímetros de precipitação. O período sem chuva no ano dura de 1 a 3 meses, de junho a setembro. O mês menos chuvoso em Balsas é julho, com média de 2 milímetros de precipitação de chuva.

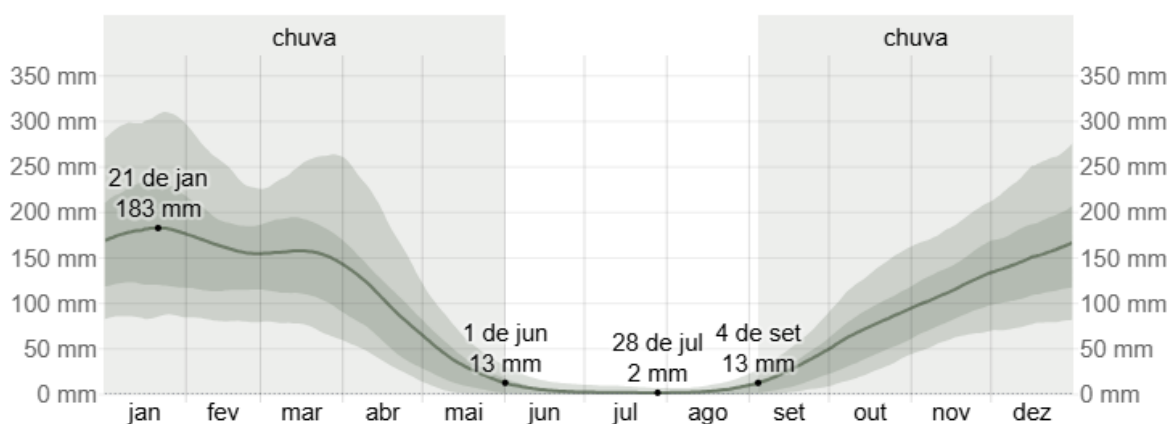


Figura 2 – Chuva mensal média em Balsas

3.2 Dados Geoespaciais

Aquisição de MDEs: Os Modelos Digitais de Elevação foram obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto e fotogrametria. Esses dados fornecem informações precisas sobre a topografia da Bacia do Rio Balsas e do município em estudo.

Dados de SIG: Utiliza-se um Sistema de Informações Geográficas para integrar os MDEs com outros dados espaciais relevantes, como uso do solo, hidrografia e áreas suscetíveis à erosão.

Os MDE podem ser obtidos por várias técnicas (HUTCHINSON & GALLANT, 2000), pela interpolação de feições vetoriais (pontos cotados, curvas de nível e hidrografia) ou diretamente de sensores remotos. Os MDE obtidos por sensoriamento remoto orbital estão disponíveis mundialmente, com grande cobertura de área por cena e baixo custo de processamento; porém, a qualidade das informações depende da rugosidade e da declividade do terreno.

Em razão da importância do MDE como fonte primordial de dados espaciais para a caracterização das diferentes formas da paisagem, é importante uma análise detalhada da qualidade do MDE e de alguns atributos derivados comumente utilizados em mapeamento. Para isso o MDE da área foi obtido por meio do satélite Copérnicos em uma resolução de 30 metros, em seguida aplicou-se um buffer de 5 km na área de modo que, é usada para criar zonas de influência ao redor de feições geográficas (pontos, linhas ou polígonos). Essas zonas são representadas por novos polígonos que se estendem por uma distância especificada ao redor da feição original. Em seguida foram geradas covariáveis morfométricas a partir do software SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses, SAGA GIS 9.3.1, pela ferramenta Terrain Analysis

3.3 Análise dos Dados

Análise Espacial: Os dados geoespaciais foram analisados utilizando software SIG (como QGIS e ArcGIS) para gerar mapas temáticos que representem a topografia, áreas suscetíveis à erosão e outros fatores relevante.

4. PROTÓTIPO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) (Figura 3) são representações tridimensionais da superfície terrestre, fundamentais para a análise e planejamento urbano de municípios. Esses modelos são gerados a partir de dados geoespaciais, como imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto, permitindo a visualização detalhada da topografia local. Através da interpolação de pontos de elevação, os MDEs fornecem informações cruciais sobre a variação do relevo, que podem ser utilizadas em diversas aplicações, como planejamento ambiental, gestão de recursos hídricos e desenvolvimento urbano sustentável. Então para esse estudo, o MDE desenvolvido apresenta uma elevação máxima em torno de 648,9 m enquanto em sua parte mais baixa encontra-se uma elevação em torno de 206 m. Essa abordagem abrangente permite uma melhor avaliação da utilidade dos MDE na predição de propriedades e classes do solo, garantindo que os dados utilizados sejam adequados para as análises pretendidas. (WISE, 2000).

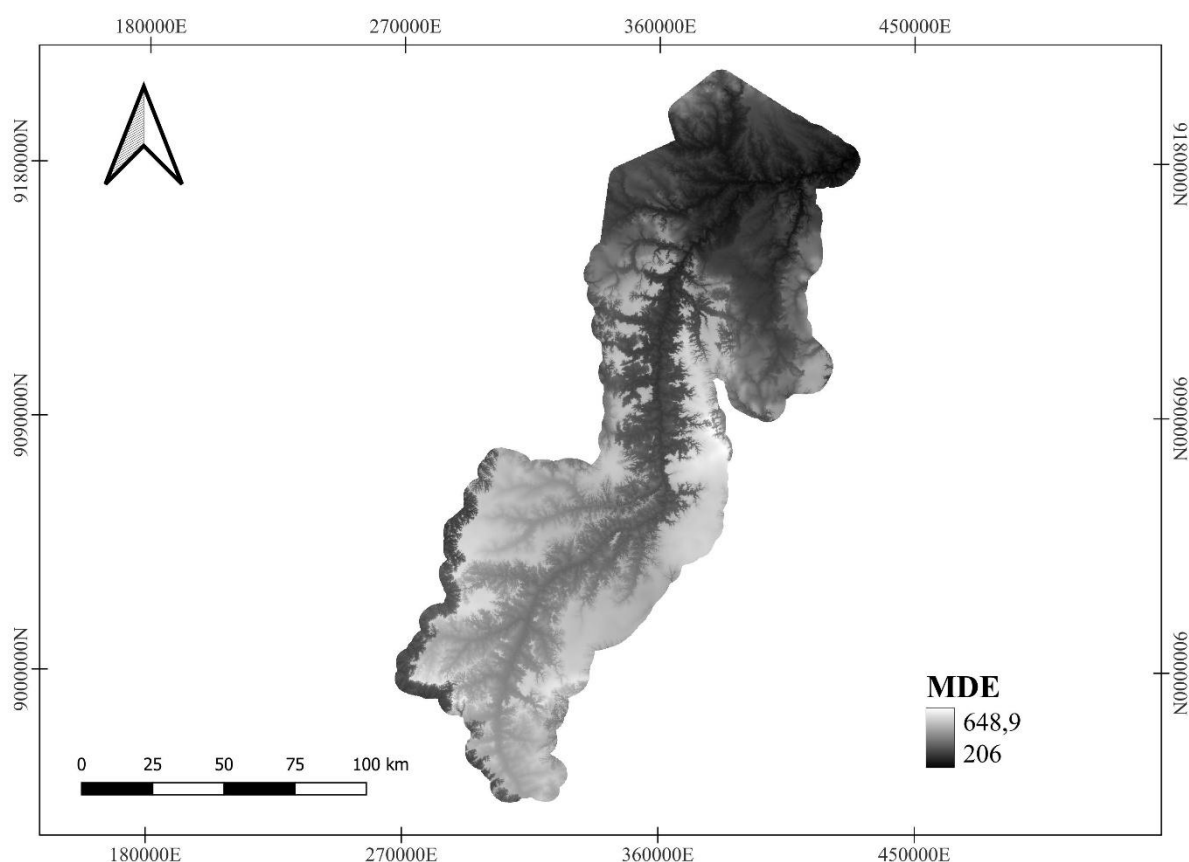


Figura 3 – Modelo digital de elevação de Balsas/MA.

4.1 Covariáveis de estudo

As covariáveis discutidas são essenciais para entender a dinâmica da topografia e sua influência nos processos hidrológicos e geomorfológicos, sendo assim uma importante ferramenta que fornecem uma análise detalhada das características da relevância, essencial para compreender a dinâmica do solo, escoamento hídrico, erosão e processos geomorfológicos. E por isso foram geradas covariáveis para se ter um melhor entendimento da área em estudo, que estão mencionadas a seguir:

Slope, LS Factor, Valley Depth, Channel Network Distance e Topographic Wetness Index.

Em resumo, a integração dessas covariáveis permite uma compreensão detalhada dos processos geomorfológicos e hidrológicos que moldam a paisagem e afetam a formação e distribuição dos solos. Elas são ferramentas essenciais para o planejamento de uso da terra, modelagem de riscos ambientais e conservação de recursos naturais, fornecendo uma base robusta para a tomada de decisão em escalas locais e regionais. Ao utilizar essas variáveis em conjunto, torna-se possível prever com maior precisão o comportamento do escoamento superficial, a suscetibilidade à erosão, bem como as áreas de maior potencial agrícola e de risco ambiental, promovendo uma gestão.

A covariável *Slope* (declividade) é uma das mais importantes em mapeamento digital de solos, calcula os parâmetros morfométricos pois desempenha um papel crucial na compreensão de como o relevo influencia as propriedades do solo e os processos geomorfológicos. Essa variável é fundamental para o planejamento do uso do solo, indicando onde é mais adequado plantar, construir ou conservar vegetação natural.

Portanto, como mostrado na (Figura 4) a variação da inclinação do relevo na área de estudo. As áreas com maiores declividades, localizadas principalmente nas bordas do mapa, indicam maior risco de erosão e menor aptidão para agricultura mecanizada. Já as áreas mais planas são mais adequadas para cultivo e uso intensivo do solo.

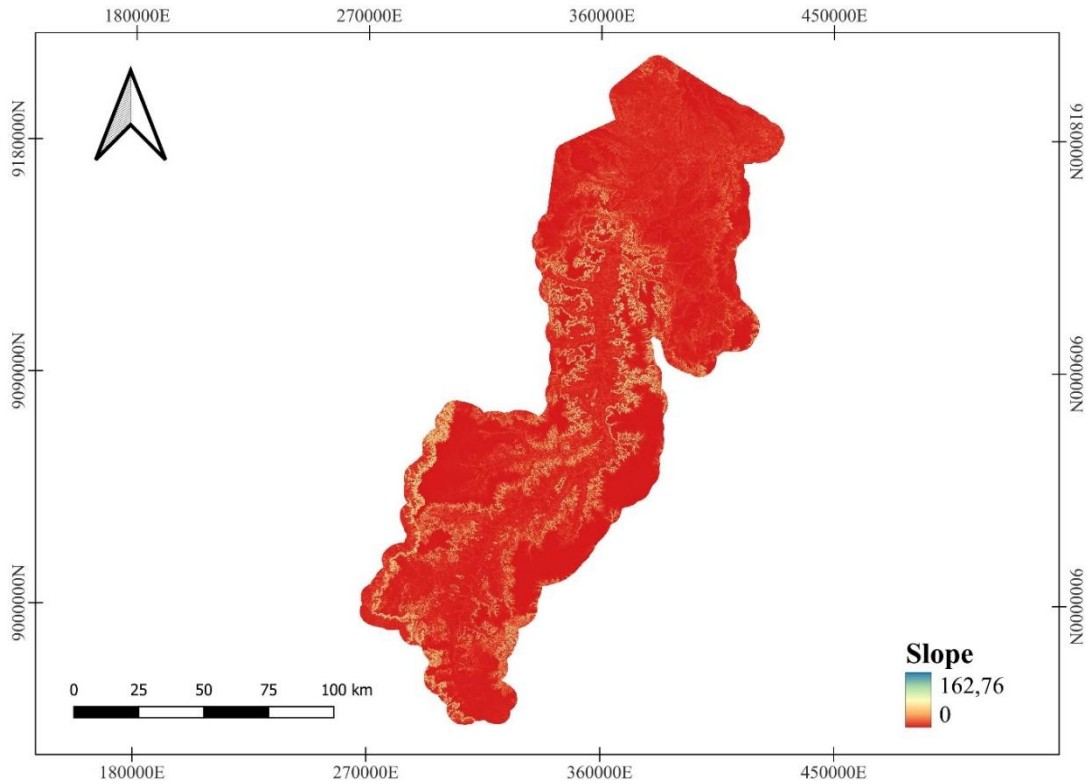


Figura 4 – Covariável slope referente a Balsas/MA.

Cálculo do fator de comprimento de rampa (LS) utilizado na Equação Universal de Perda de Solo (USLE), com base na declividade e na área de captação específica (SCA, como substituto para o comprimento de rampa).

O LS Factor é um indicador da erosividade do terreno, combinando declividade e comprimento de rampa. Os maiores valores de LS localizam áreas com alto potencial de perda de solo, indicando a necessidade de adoção de práticas conservacionistas. Essa variável é essencial para modelagens de risco à erosão e para definir estratégias de manejo sustentável do solo.

Este fator combina a declividade (slope) com o comprimento da rampa de escoamento (L), sendo parte da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), utilizada para estimar a erosividade do terreno. Altos valores de LS indicam alto potencial de perda de solo por erosão, especialmente onde há declividades acentuadas combinadas com longos caminhos de

escoamento. Zonas críticas podem ser priorizadas para ações de conservação do solo, como terraceamento, plantio em nível ou cobertura vegetal permanente. A análise espacial do LS-factor permitiu identificar áreas vulneráveis que devem ser manejadas com práticas agrícolas sustentáveis.

Aqui avaliou-se (Figura 5) o potencial de perda de solo por erosão. As zonas com valores elevados de LS são críticas, pois combinam longas rampas com grande inclinação, o que favorece o escoamento superficial e a remoção de partículas do solo.

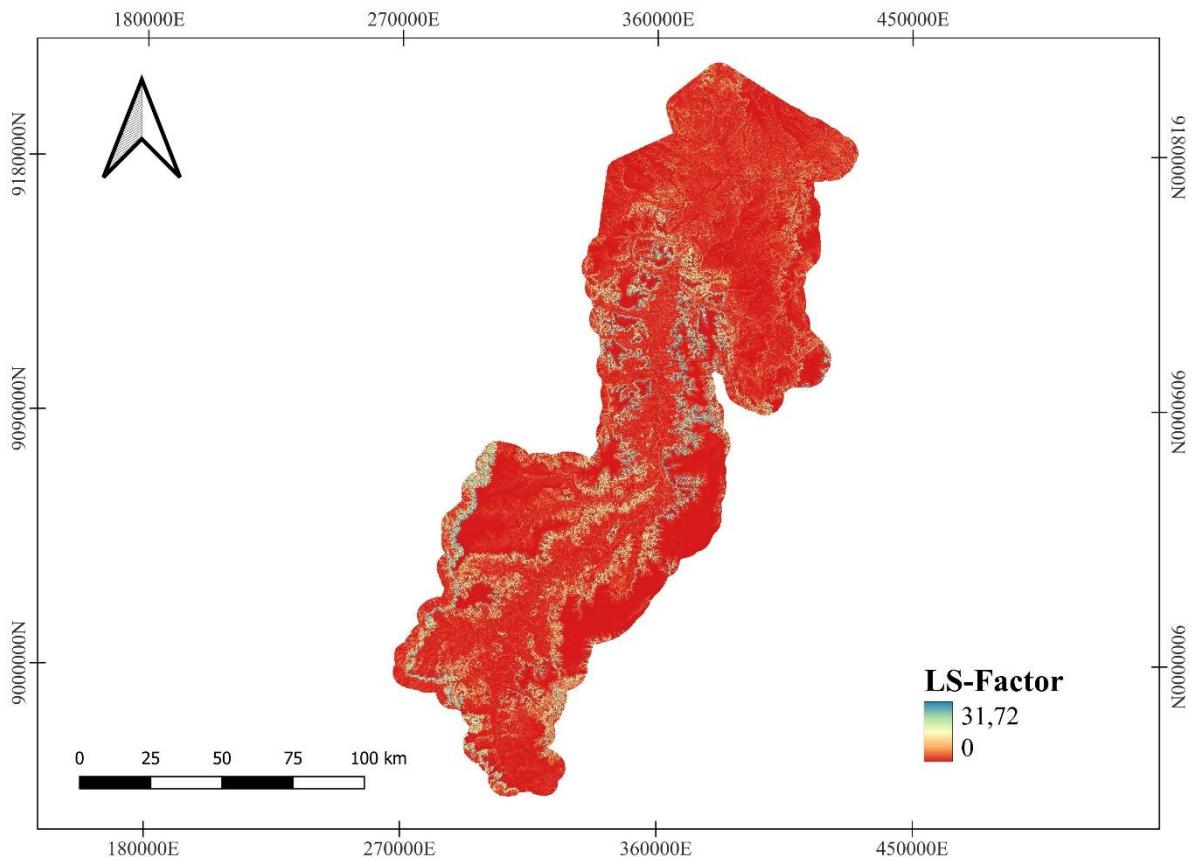


Figura 5 – Covariável LS-Factor referente a Balsas/MA.

A profundidade do vale é calculada como a diferença entre a elevação e um nível de crista interpolado. A interpolação do nível de crista utiliza o algoritmo implementado na ferramenta "Distância Vertical até a Rede de Canais".

Essa covariável identifica regiões com maior acúmulo de fluxo hídrico e deposição de materiais, refletindo os padrões geomorfológicos da área. Áreas com alta profundidade de vale indicam zonas de maior concentração de água e maior fertilidade, sendo importantes para o manejo hídrico e o uso agrícola planejado. Logo essa variável expressa a diferença vertical entre

a elevação de um ponto e o nível interpolado da crista mais próxima, permitindo identificar áreas de acúmulo de material ou erosão intensa.

Regiões com alta profundidade de vale indicam zonas de drenagem consolidada, onde ocorre maior concentração de fluxo hídrico, principalmente na parte central norte do município e na borda, como é apresentada na (Figura 6). Essas áreas costumam ser mais férteis por receberem material transportado e podem ser propensas à saturação do solo, necessitando de análise para uso agrícola. É uma variável importante na caracterização de microbacias e na delimitação de ambientes de deposição e erosão. Por fim, essa variável revela os compartimentos erosivos da paisagem. As áreas mais profundas indicam canais consolidados ou zonas de acumulação de material, sendo úteis para identificação de áreas férteis ou de maior concentração hídrica.

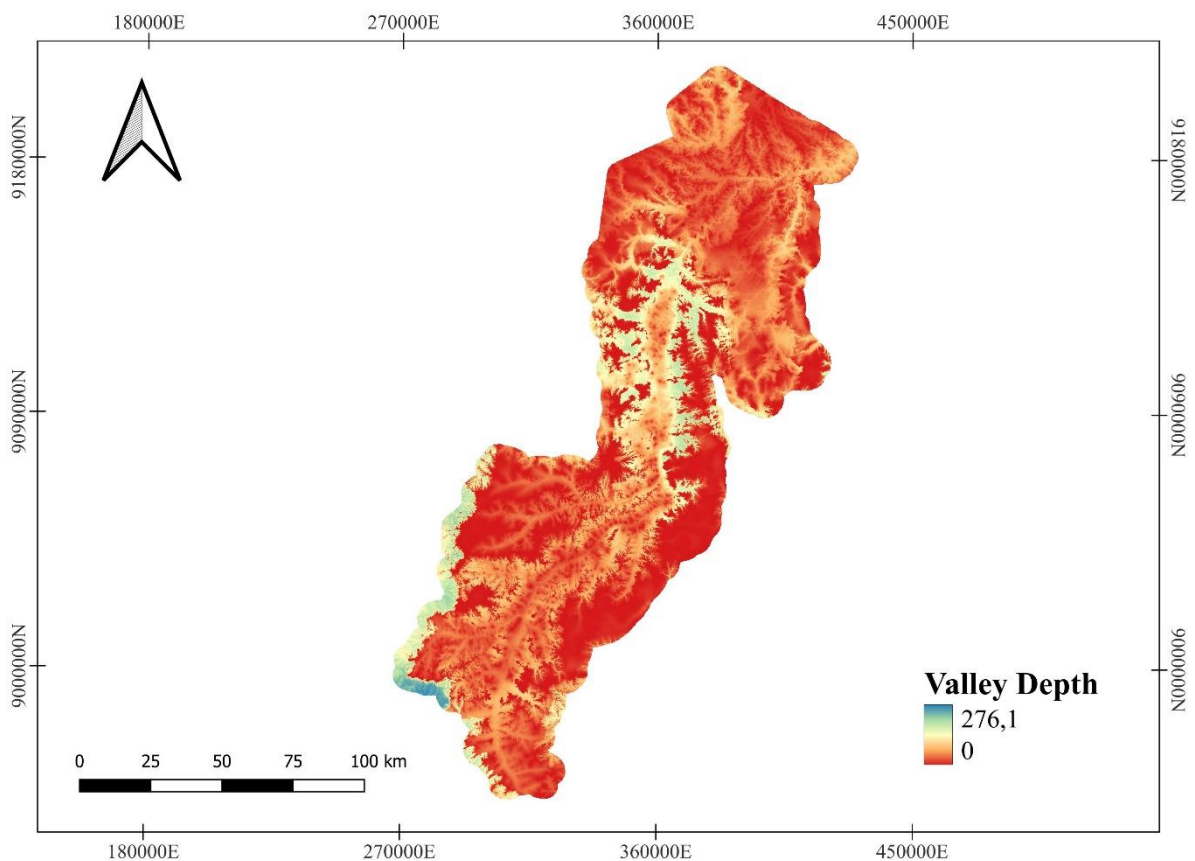


Figura 6 – Covariável Valley Depth referente a Balsas/MA.

A covariável channel network distance (CND) refere-se à distância de um ponto específico (como uma parcela de terra, um pixel de imagem ou uma localização geográfica) até o canal de drenagem mais próximo em uma rede hidrográfica. Essa variável é frequentemente utilizada em estudos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos para analisar a influência da proximidade de cursos d'água.

A distância até a rede de drenagem é crucial para entender a dinâmica hídrica da paisagem. Locais mais próximos dos canais de drenagem tendem a apresentar maior influência do escoamento e possíveis áreas de alagamento. Essa variável auxilia na definição de áreas de preservação permanente (APPs) e no planejamento de ocupação do solo. A CND representa a distância entre qualquer ponto da superfície e o canal de drenagem mais próximo, sendo vital para entender o comportamento hidrológico local. Áreas mais próximas da rede de drenagem têm maior influência do escoamento superficial e maior propensão à saturação do solo. Distâncias maiores sugerem zonas de contribuição de fluxo, onde práticas de manejo devem considerar o tempo de concentração da água. Essa variável também apoia a modelagem de bacias hidrográficas e o monitoramento de impactos ambientais.

De acordo com a (Figura 7) ela representa a distância de cada ponto até o canal de drenagem mais próximo. As áreas próximas aos canais, a parte mais central norte e a bordadura são mais propensas a saturação hídrica e requerem atenção especial no uso do solo, enquanto áreas mais afastadas representam zonas de contribuição para o fluxo.

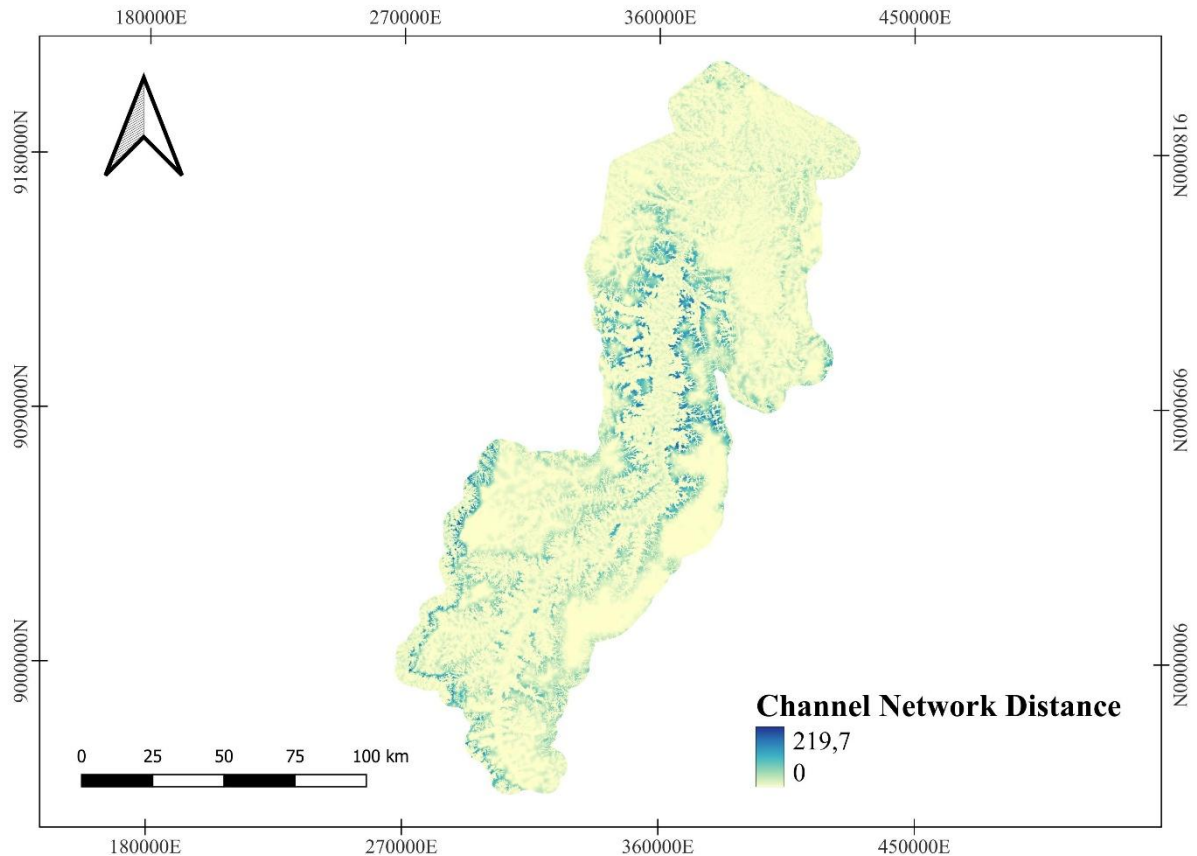


Figura 7 – Covariável Channel Network Distance (CND) referente a Balsas/MA.

O Topographic Wetness Index (TWI), ou Índice de Umidade Topográfica, é uma covariável amplamente utilizada em hidrologia, geomorfologia e ciências ambientais para estimar a propensão de uma área a acumular água no solo com base em suas características topográficas. Ele combina o efeito da contribuição de área (upslope area) e a inclinação do terreno (slope) para prever zonas de potencial saturação de água. O TWI estima a propensão do terreno a reter umidade com base na contribuição de área e declividade. Altos valores indicam regiões com potencial de saturação hídrica, importantes para prever zonas úmidas e áreas suscetíveis à erosão laminar e processos de instabilidade.

É uma variável chave em estudos hidrológicos e ambientais. Essa análise integrada das covariáveis morfométricas permite compreender com maior precisão a estrutura e funcionamento da paisagem na região de Balsas, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento territorial, manejo ambiental e uso sustentável dos recursos naturais.

O TWI é uma métrica que estima a tendência de acumulação de umidade no solo, combinando declividade e área de contribuição. Altos valores de TWI indicam locais com maior

potencial de saturação (Figura 8), podendo favorecer o desenvolvimento de vegetação hidrófila ou aumentar o risco de processos como lamas ou deslizamentos. Valores baixos indicam zonas bem drenadas, ideais para culturas sensíveis ao encharcamento. É uma ferramenta poderosa para prever zonas úmidas, definir o uso do solo e orientar a localização de áreas de recarga hídrica. Por fim, o TWI indica as áreas com maior tendência à acumulação de água. Zonas com altos valores de TWI são potenciais áreas úmidas, importantes para conservação ou restrição de uso agrícola. Esse índice é essencial para entender padrões de encharcamento e recarga hídrica.

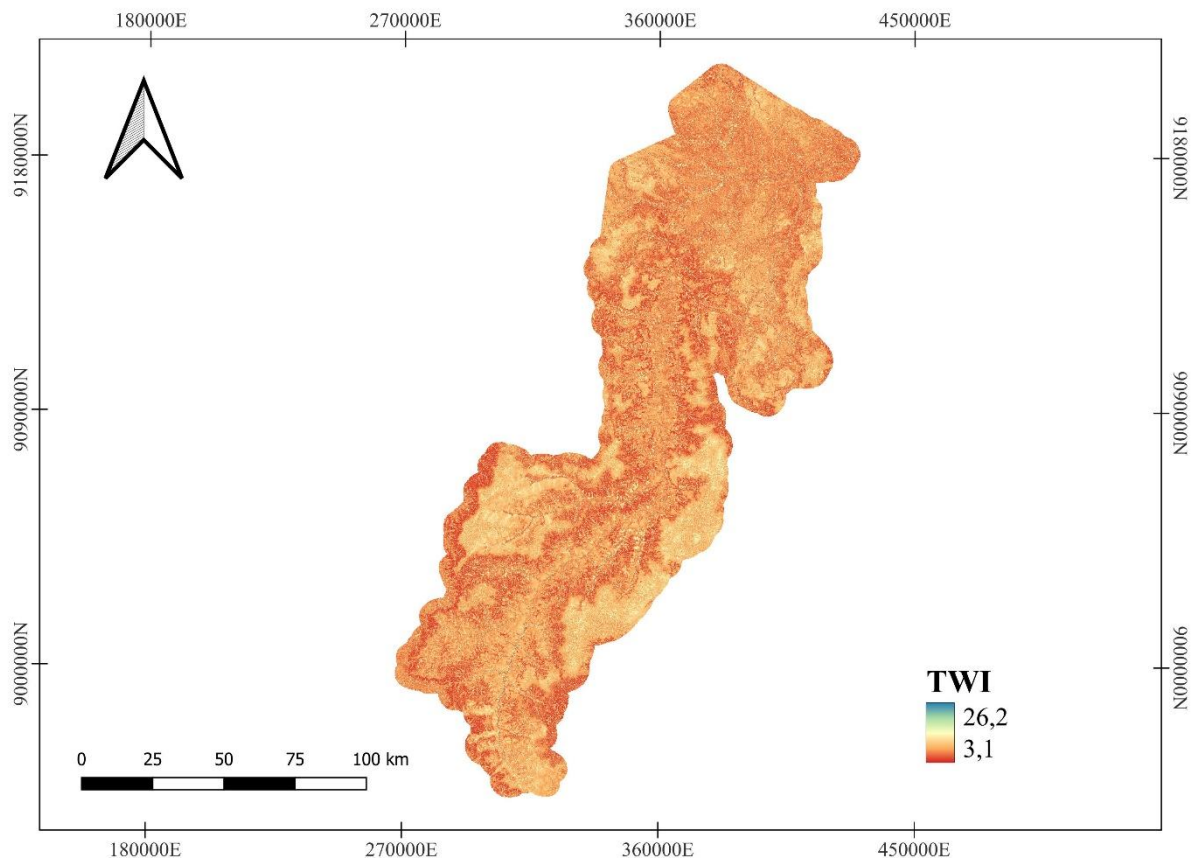


Figura 8 – Covariável TWI referente a Balsas/MA.

5. RECOMENDAÇÕES DE APLICAÇÃO

Essa análise integrada das covariáveis morfométricas permite compreender com maior precisão a estrutura e funcionamento da paisagem na região de Balsas, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento territorial, manejo ambiental e uso sustentável dos recursos naturais.

Do ponto de vista crítico, o produto elaborado se mostra relevante tanto na esfera prática quanto teórica. Na prática, os mapas gerados a partir do MDE e de suas covariáveis oferecem suporte direto ao planejamento agrícola, à delimitação de áreas de preservação e à mitigação de riscos ambientais, especialmente em uma região como Balsas, marcada pela expansão da agricultura.

Já no campo teórico, este trabalho contribui para consolidar a importância dos MDEs como ferramenta essencial na integração entre geomorfologia, hidrologia e ciência do solo. Ao adaptar técnicas de análise espacial para uma realidade regional específica, o estudo demonstra como abordagens digitais podem enriquecer o conhecimento sobre a paisagem, fortalecendo a base para futuros estudos em modelagem preditiva de solos e zoneamento ecológico-econômico. O público-alvo inclui técnicos agrícolas, gestores ambientais, pesquisadores e formuladores de políticas públicas, os quais poderão utilizar o produto como uma ferramenta estratégica para tomada de decisões sustentáveis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho destacou a relevância dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) e de suas covariáveis morfométricas na análise da paisagem do município de Balsas, Maranhão. Por meio da aplicação integrada de ferramentas de geoprocessamento e análise espacial, foi possível identificar padrões do relevo e inferir suas implicações sobre processos ambientais como escoamento hídrico, suscetibilidade à erosão, potencial de uso agrícola e conservação dos recursos naturais.

As covariáveis geradas — declividade, LS-Factor, profundidade do vale, distância até a rede de drenagem e índice de umidade topográfica — mostraram-se eficazes para caracterizar a morfologia da área de estudo, oferecendo subsídios técnicos essenciais para o planejamento territorial sustentável. Além disso, evidenciaram-se áreas de risco ambiental e zonas com maior potencial produtivo, possibilitando uma abordagem mais estratégica na ocupação do solo. A contribuição teórica do trabalho se dá na demonstração prática da aplicabilidade dos MDEs como base para análises ambientais mais robustas, enquanto sua contribuição prática reflete-se no suporte direto à tomada de decisão por parte de agricultores, técnicos, gestores públicos e pesquisadores.

Conclui-se que o uso de dados topográficos de forma integrada, como proposto neste estudo, representa um caminho viável e necessário para a gestão inteligente da paisagem, contribuindo para o equilíbrio entre produtividade e conservação em regiões de forte expansão agropecuária como Balsas/MA.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Manual de construção da base hidrográfica otocodificada: fase 1 - construção da base topológica de hidrografia e otobacias conforme a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter: Versão 2.0. Brasília, ANA/SGI, 2007. 144p.

ARAÚJO, G.H.S.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. Gestão ambiental de áreas degradadas. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

BUI, E.N.; LOUGHHEAD, A.; CORNER, R. Extracting soil-landscape rules from previous soil surveys. *Australian Journal of Soil Research*, v.37, p.495-508, 1999.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M. & D'ALGE, J.C. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001. 324p.

CARVALHO, R.G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 1, n. 36, p. 26-43, 2014.

CHAGAS, C.S. Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros. 2006. 223p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CPTEC/INPE. (2020). Clima e Tempo em Balsas-MA. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>.

DIAS, L. S. O., ROCHA, G. A., BARROS, E. U. A., MAIA, P. H. P. Utilização do Radar Interferométrico para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas. In: *Bahia Análise & Dados*. Salvador, v.14, n.2, p.265- 271, set. 2004.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico do Exército. “Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG).” 1. Ed., 2. Rev. Brasília, DF, 2015.

FAIRFIELD, J. & LEYMARIE, P. Drainage networks from grid digital elevation models. *Water Res. Res.*, 27:709-717, 1991.

FEITOSA, A. C. O Maranhão primitivo: uma tentativa de constituição. São Luís: Ed. Augusta, 1983.

FERNANDES, M. C. Desenvolvimento de rotina de obtenção de observações em superfície real: uma aplicação em análises geológicas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 2004. 256p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FERREIRA, G. D. F. (2014). Emprego de simulação no controle de qualidade em cartografia aplicado a modelos digitais de superfícies oriundos de sensores orbitais segundo PEC-PCD (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).

FURNANS, J. E. Topologic Navigation and the Pfafstetter System. 2001. 214f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia) - The University of Texas, Austin, 2001.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

HUTCHINSON, M.F.; GALLANT, J.C. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: WILSON, J.P.; GALLANT, J.C. (Ed.). *Terrain analysis: principles and applications*. New York: John Wiley and Sons, 2000. p.29-50

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/balsas.html> Acesso em: 03/10/2022.

INMET. (2021). Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>.

JENSON, S.K. & DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogr. Eng. Rem. Sens.*, 54:1593-1600, 1988.

MARTINS, S.V. Recuperação de áreas degradadas: como recuperar áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e áreas de mineração. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013.

MORAIS, J. D. (2017). Avaliação de modelos digitais de elevação provenientes de dados de sensoriamento remoto de distribuição gratuita. <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/IGCM-AQPMTM>.

VALLADARES, C. C. et al. Aptidão agrícola do Maranhão. Campinas: Embrapa, 2005.

WISE, S. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. *Hydrological Processes*, v.14, p.1909-1929, 2000.



ANEXO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
COORDENADORIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

ATA Nº 3655/2025 - CEAD (12.28.01.36)

Nº do Protocolo: 23083.040751/2025-58

Seropédica-RJ, 25 de julho de 2025.

ATA DE DEFESA

Aos dezessete dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e cinco, às quatorze horas, através de web conferência, instalou-se a banca examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos, do cursista **Fernando José Pereira Ferreira** sob a orientação do professor **Gustavo Souto Perdigão Granha**. A banca examinadora foi composta pelos professores/pesquisadores **Niriele Bruno Rodrigues** e **Vitor Oliveira de Vasconcelos**. A defesa do TCC intitulado "**Modelo Digital de Elevação (MDE) e Suas Covariáveis na Análise da Paisagem de Balsas, Maranhão**", foi iniciada às quatorze horas e teve a duração de vinte minutos de apresentação seguida da avaliação pela banca. O cursista, após avaliado pela banca examinadora obteve o resultado:

(X) APROVADO, devendo o cursista proceder a eventual revisão solicitada pelo supervisor e /ou pela banca, e entregar a versão final em até quinze dias à coordenação do Curso.

() NÃO APROVADO.

Seropédica, 17 de julho de 2025.

Niriele Bruno Rodrigues

Primeira Examinadora

Vitor Oliveira de Vasconcelos

Segundo Examinador

Gustavo Souto Perdigão Granha

Presidente

Fernando José Pereira Ferreira

**(Assinado digitalmente em 25/07/2025
15:46)**

GUSTAVO SOUTO PERDIGAO GRANHA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
De GEOIM (12.28.01.00.00.87)
Matrícula: ###524#0

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 15:49)

NIRIELE BRUNO RODRIGUES
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.797-##

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 16:20)

VITOR OLIVEIRA DE VASCONCELOS
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.997-##

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 15:47)

FERNANDO JOSÉ PEREIRA FERREIRA
DISCENTE
Matrícula: 2024#####2

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **3655**, ano: **2025**, tipo: **ATA**, data de emissão: **25/07/2025** e o código de verificação: **d6ffa1ab66**



ESPECIALIZAÇÃO

**Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos**

UFRJ - UFMG - UFV - UFPA