

MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA UTILIZANDO ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEJIPIÓ/PE

Mapping of susceptibility to mass movements using multicriteria analysis: Case study in the Tejipió river water basin/PE

Amaury Gouveia Pessoa Neto

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Brasil

agpn@poli.br

Márcia Rejane Oliveira Barros Carvalho Macedo

Universidade de Pernambuco - UPE, Brasil

marcia.macedo@upe.br

Simone Rosa da Silva

Universidade de Pernambuco - UPE, Brasil

simonerosa@poli.br

Marcus Metri Corrêa

Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Brasil

marcus.mcorre@ufrpe.br

Kaliny Patrícia Vaz Lafayette

Universidade de Pernambuco - UPE, Brasil

klafayette@poli.br

Henrique dos Santos Felipetto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Brasil

felipetto@utfpr.edu.br

Recebido: 29-05-2025

Aceito: 04-06-2025

Resumo

A urbanização acelerada e desordenada em diversas cidades brasileiras resultou na ocupação de áreas inadequadas, como encostas íngremes e solos instáveis. Esse padrão de ocupação aumenta a suscetibilidade a movimentos de massa, sobretudo quando aliado a condições climáticas adversas. Este estudo tem como objetivo desenvolver um modelo para mapear as áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejipió, em Pernambuco, considerando suas características físico-naturais e seu considerável índice de urbanização. A metodologia utilizada foi o Processo Analítico Hierárquico (AHP), um dos métodos da Análise de Decisão Multicritérios - (MCDM), para integrar oito fatores condicionantes a movimentos de massa: declividade, hipsometria, uso e cobertura da terra, pedologia, geologia, pluviosidade, formato e orientação das vertentes, em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Cada fator foi ponderado de acordo com seu potencial de contribuição para os movimentos de massa, reclassificados e submetidos à álgebra de mapas. Os resultados mostraram que 18,63 km² da bacia são classificados como altamente suscetíveis, representando 20,71% da área estudada. Essas áreas são caracterizadas por uma combinação de declividade e altitude elevadas (altimetria acentuada), solos argilosos e localização nas subprovincias estruturais Pernambuco-Alagoas e Zona Transversal. O mapeamento desenvolvido neste estudo constitui uma importante ferramenta para subsidiar a elaboração de um planejamento urbano adequado, permitindo a definição de estratégias eficazes para mitigar impactos causados por movimentos de massa.

Palavras-chave: Processo Analítico Hierárquico (AHP), Sistema de Informações Geográficas (SIG), Urbanização acelerada e desordenada.

Abstract

Accelerated and unplanned urbanisation in several Brazilian cities has led to the occupation of unsuitable areas, such as steep slopes and unstable soils. This occupation pattern increases susceptibility to landslides, especially when combined with adverse climatic conditions. This study aims to develop a model to map areas susceptible to mass movements in the Tejió River Basin, in Pernambuco, considering the region's physical and natural characteristics and its significant urbanisation index. The methodology used was the Analytical Hierarchy Process (AHP), a method of Multicriteria Decision-Making (MCDM), to integrate eight factors conditioning landslides: slope, hypsometry, land use and land cover, pedology, geology, rainfall, shape, and orientation of slopes, within a Geographic Information System (GIS). Each factor was weighted according to its potential contribution to landslides, reclassified, and subjected to map algebra. The results showed that 18.63 km² of the basin is classified as highly susceptible, representing 20.71% of the studied area. These areas are characterised by a combination of steep slope and high altitude (accentuated altimetry), clayey soils, and location in the Pernambuco-Alagoas and Transversal Zone structural subprovinces. The mapping developed in this study is an important tool to support the creation of appropriate urban planning, allowing the definition of effective strategies to mitigate impacts caused by mass movements.

Keywords: Analytical Hierarchy Process (AHP), Geographic Information System (GIS), Accelerated and unplanned urbanisation.

1. INTRODUÇÃO

A urbanização é um fenômeno global impulsionado pela industrialização, que se acelerou e intensificou significativamente ao longo do século XX (Santos, 2021; Santos; Santos, 2023). Em diversas cidades do Brasil, esse processo ocorreu de maneira desordenada, sem a implementação de políticas públicas adequadas, o que resultou em impactos ambientais, sociais e econômicos (Santos, 2020; Lima; Konrad; Feitosa, 2024).

O desenvolvimento urbano desordenado provoca alterações significativas na cobertura e uso da terra, além de modificar os padrões de paisagem, resultando em danos severos ao sistema ambiental, como aumento da temperatura média, emissões de carbono, escassez de água, perda de biodiversidade, entre outros (Das; Angadi, 2020; Sun; Li; Zhong, 2022; Wang *et al.*, 2022; Silva, Rodrigues; Fonseca, 2023). Essa sistemática compromete os principais processos e funções ecológicas que sustentam o bem-estar humano (Sharma; Joshi; Fürst, 2022).

Atividades humanas advindas da expansão urbana desordenada, como o desmatamento em larga escala e a consequente ocupação irregular de encostas, contribuem para a desestabilização do solo, elevando consideravelmente o risco de ocorrência de movimentos de massa (Li; Wang; Mao, 2020; Bennett; Bierman, 2024). Esses processos resultam em severas perdas econômicas e ambientais, com potenciais danos materiais, redução de áreas agrícolas, aumento da sedimentação em cursos d'água e até mesmo a perda de vidas humanas (Goudie, 2023).

Os movimentos de massa desempenham um papel significativo na dinâmica geomorfológica, influenciando a evolução das formas de relevo ao promover o transporte de solos, rochas e detritos por meio de deslocamentos controlados principalmente pela

ação da gravidade (Moussa; Francisco; Rosa, 2023). Entre os diversos tipos de movimentos de massa, os escorregamentos (ou deslizamentos) se destacam por sua frequência em áreas urbanas, caracterizados por eventos de curta duração (Bispo *et al.*, 2020).

Diante dos impactos causados pelos movimentos de massa, é fundamental o desenvolvimento de metodologias capazes de identificar áreas suscetíveis a esses processos, a fim de prevenir e gerenciar de forma mais eficaz esses eventos catastróficos antes que ocorram (Elmoulat *et al.*, 2021). Nesse contexto, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem se destacado como uma ferramenta amplamente utilizada para analisar a suscetibilidade a movimentos de massa, devido à sua capacidade de integrar diversos dados espaciais e técnicas de modelagem (Li; Huang, 2024).

A Análise de Decisão Multicritérios (MCDM) é amplamente empregada em decisões complexas que envolvem uma grande quantidade de dados ou critérios e, quando combinada com o uso de Sistema de Informações Geográficas - SIG, facilita a análise de fenômenos por meio de informações de mapas temáticos e ferramentas geoespaciais (Santos *et al.*, 2022). Essa metodologia é bastante recorrente nas Geociências, sendo amplamente utilizada em modelagens espaciais e análises de riscos naturais, como a suscetibilidade a movimentos de massa e inundações, e a avaliação de processos de deformação e erosão do solo (Karymbalis *et al.*, 2021).

A partir da identificação das áreas suscetíveis a movimentos de massa, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias para o controle e a prevenção desses fenômenos. As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) são intervenções ambientais inspiradas em processos naturais, que utilizam e simulam os mecanismos ecológicos de ecossistemas naturais em ambientes modificados ou artificiais, promovendo a resiliência dos ecossistemas (Gomes Neto *et al.*, 2020). As SBN visam estabilizar encostas por meio da vegetação, aumentando a coesão do solo e reduzindo o escoamento, o que contribui para a mitigação dos riscos de movimentos de massa.

Assim como ocorre em diversas bacias hidrográficas urbanas brasileiras (Carvalho; Brandão, 2020; Costa *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2023), a bacia do rio Tejpió, em Pernambuco, enfrenta transformações significativas no seu espaço devido à expansão urbana desordenada. Na região, é bastante comum observar problemas como a ocupação irregular de moradias em encostas e o descarte inadequado de resíduos sólidos e efluentes domésticos. Essas práticas, aliadas a eventos extremos de precipitação, intensificam diretamente a ocorrência de movimentos de massa.

Considerando as características físico-naturais e o elevado grau de urbanização da bacia hidrográfica do rio Tejipió, o presente estudo teve como objetivo identificar a suscetibilidade a movimentos de massa nessa região. Para isso, foi realizado um mapeamento no SIG, empregando o Processo Analítico Hierárquico (AHP), uma das ferramentas da MCDM.

2. CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Tejipió, região do estudo, está localizada na Região Metropolitana do Recife (RMR), em Pernambuco. Ela abrange a área entre as coordenadas geográficas de 08° 02' 04,76" e 08° 09' 26,56" de latitude sul, e 34° 52' 26,56" e 35° 02' 47,49" de longitude oeste, totalizando 90,00 km², aproximadamente (Pessoa Neto *et al.*, 2024). Essa bacia pertence à Unidade de Planejamento Hídrico 04 (UP04), denominada Metropolitana Sul (SEINFRA, 2022), e engloba os municípios de São Lourenço da Mata, Jaboatão dos Guararapes e Recife (Figura 1). Seu principal curso hídrico, o rio Tejipió, possui aproximadamente 23,00 km de extensão, com a nascente na Mata Mamucaia, no município de São Lourenço da Mata, e o exutório na bacia do Pina, no Recife (Oliveira *et al.*, 2022).

A região do estudo apresenta um índice pluviométrico médio anual de aproximadamente 1.900 mm, com os maiores valores médios mensais de precipitação geralmente ocorrendo no mês de junho (Pessoa Neto *et al.*, 2024). No entanto, esses valores podem ser superados em eventos extremos, como ocorreu em 28 de maio de 2022, quando a lâmina de precipitação acumulada ultrapassou os 200 mm, provocando movimentos de massa e inundações que acarretaram danos patrimoniais e ambientais, além da perda de vidas humanas (Silva *et al.*, 2023).

Em relação à geomorfologia, são verificados morros nos cursos alto e médio da bacia, enquanto no baixo curso predominam as planícies costeiras. Quanto ao uso e cobertura da terra, a urbanização predomina na região, ocupando 67,40% de sua área total. A vegetação, que representa 22,50% da bacia, é composta principalmente por remanescentes de Mata Atlântica secundária. A agricultura ocupa 4,50% da área, com destaque para o cultivo de cana-de-açúcar. Os manguezais abrangem 5,20% do território e 0,40% da área total é formada por massas d'água, como açudes e lagos (Silva *et al.*, 2017).

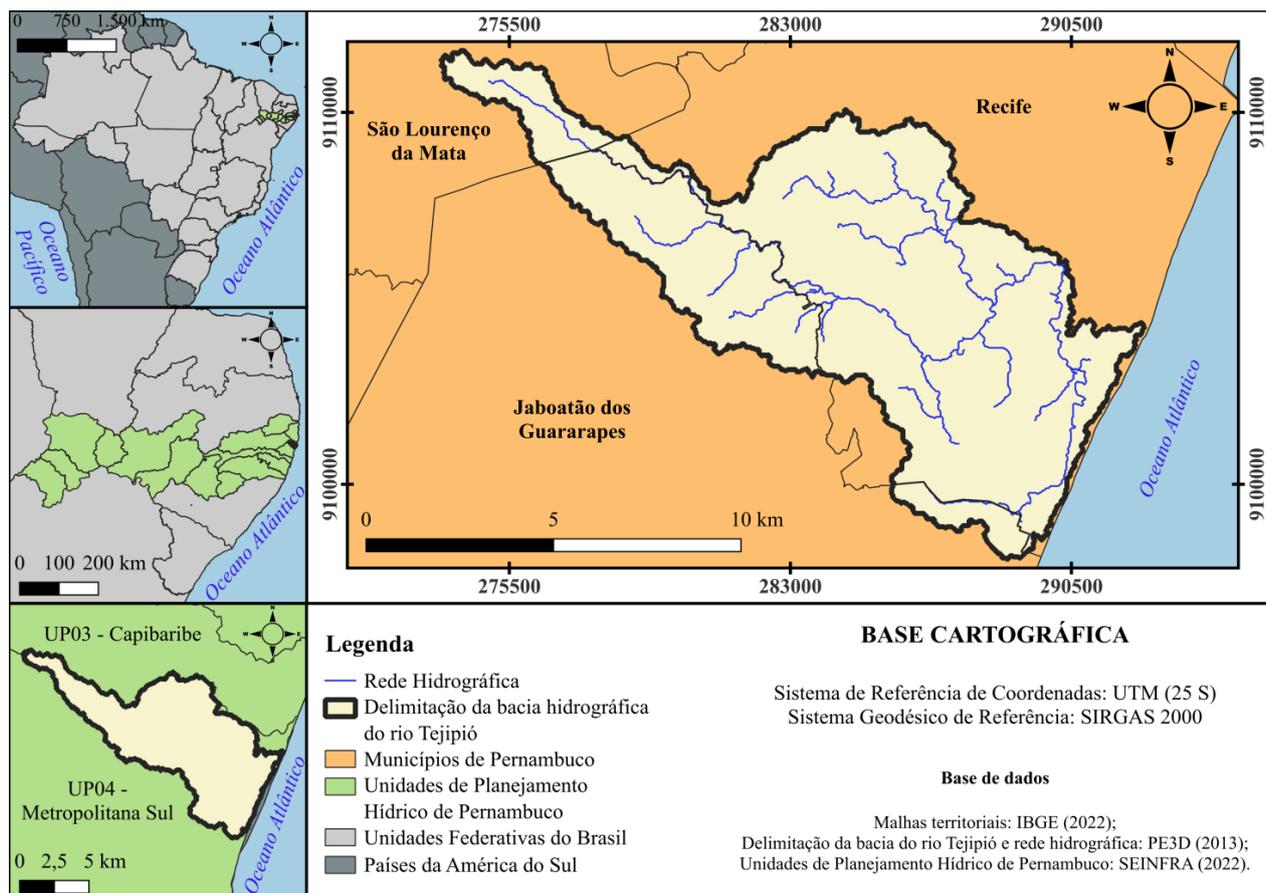


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Tejiipi.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A escolha da bacia do rio Tejiipi como área de estudo se justifica pelas suas características físico-naturais e pelo elevado índice de urbanização, fatores que a tornam suscetível a movimentos de massa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada neste estudo está sintetizada na Figura 2. O mapa de suscetibilidade a movimentos de massa foi elaborado com base nos fatores que favorecem esse tipo de processo, tais como declividade, hipsometria, uso e cobertura da terra, pedologia, geologia, pluviosidade e o formato e a orientação das vertentes. Em seguida, foram atribuídas notas a esses fatores por meio de um processo de reclassificação, de acordo com o grau de suscetibilidade a movimentos de massa, para que fosse possível aplicar o método AHP. Por fim, utilizou-se a álgebra de mapas para gerar o mapa final de suscetibilidade a movimentos de massa.

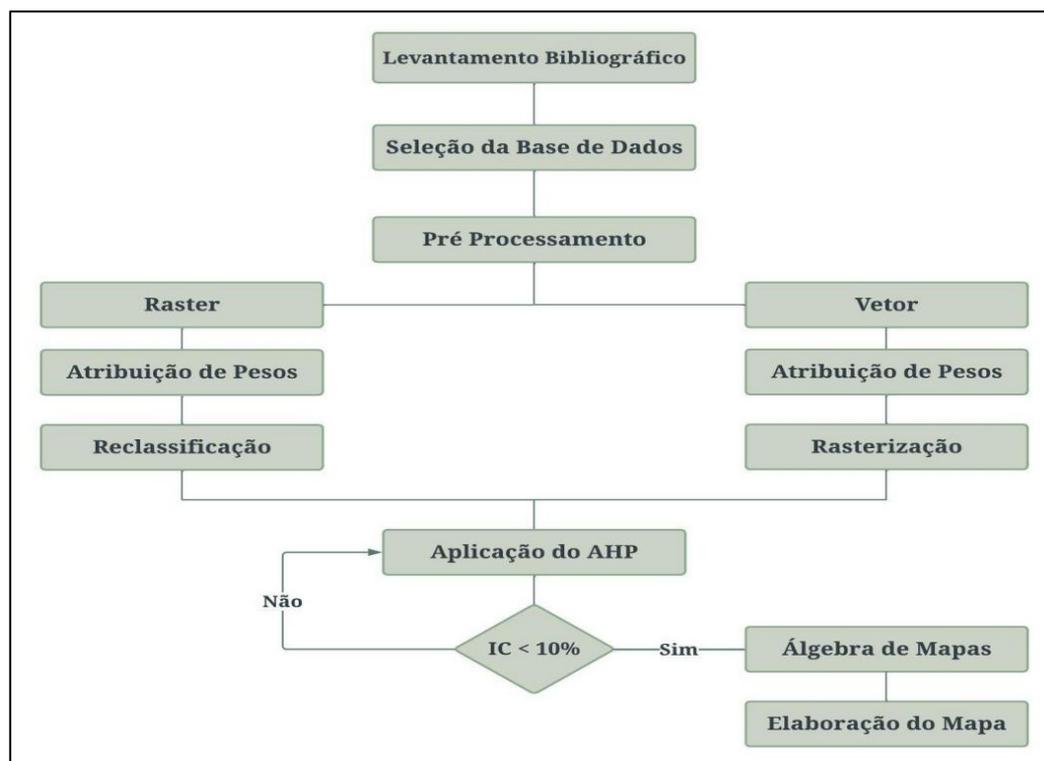


Figura 2 - Sintetização dos procedimentos metodológicos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

3.1 Seleção, Coleta e Tratamento dos Fatores Condicionantes à Suscetibilidade a Movimentos de Massa

Esta etapa consistiu na seleção dos fatores condicionantes à suscetibilidade a movimentos de massa, com base em estudos semelhantes encontrados no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e na plataforma *Google Scholar*.

Conforme análise dos estudos selecionados, os principais fatores que contribuem para a suscetibilidade a movimentos de massa incluem declividade, hipsometria, uso e cobertura da terra, pedologia, geologia, pluviosidade, além do formato e da orientação das vertentes (Jassim; Hussain; Al-Shwaily, 2023; Araújo *et al.*, 2024; Liu; Shao; Shao, 2024; Porto *et al.*, 2024; Singh *et al.*, 2024; Soyaslan; Hepdeniz, 2024).

De maneira geral, estudos sobre mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa variam conforme os objetivos do trabalho, a metodologia adotada e o foco da aplicação, o que permite a inclusão de parâmetros ambientais, físicos e/ou socioeconômicos específicos para a região estudada (Pessoa Neto *et al.*, 2023).

Os dados espaciais utilizados na elaboração dos mapas dos fatores condicionantes à suscetibilidade a movimentos de massa foram obtidos a partir de fontes *on-line* de órgãos oficiais. Os métodos de construção desses mapas estão detalhados a seguir:

Declividade: Elaborado em formato matricial (*raster*), a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros, obtido por meio de perfilamento a *laser* aerotransportado (LiDAR), proveniente do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) (2013). As declividades foram expressas em porcentagem e classificadas em seis classes, conforme a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1979).

Hipsometria: Produzido com base no MDE gerado pelo PE3D (2013), as cotas altimétricas apresentadas no mapa foram expressas em metros e organizadas em sete classes.

Uso e cobertura da terra: Os dados foram obtidos da plataforma virtual do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass), disponibilizados em formato raster com resolução espacial de 30 metros (MAPBIOMAS, 2024).

Pedologia: O arquivo vetorial (*shapefile*) sobre a distribuição dos solos do estado de Pernambuco foi adquirido através do Catálogo de Metadados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), na escala 1:100.000 (ANA, 2017).

Geologia: Os dados geológicos da bacia do rio Tejiipió foram obtidos em formato vetorial (*shapefile*) por meio da plataforma do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA), na escala 1:250.000 (BDiA, 2019).

Pluviosidade: Foi utilizada uma série de dados históricos de precipitação de dez estações pluviométricas, correspondentes a um período de 18 anos, entre 1º de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2021. As estações utilizadas incluem cinco monitoradas pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), três pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), uma pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e uma pela ANA (Quadro 01). O intervalo da série histórica foi escolhido para minimizar lacunas nas séries temporais das estações. Para o preenchimento de dados ausentes, foi adotado o método da ponderação regional, no qual as estimativas de precipitação foram obtidas a partir das medições de pelo menos três estações localizadas em áreas climáticas semelhantes à da estação com dados faltantes. Após o tratamento das séries históricas, a precipitação média anual de cada estação foi determinada utilizando o método aritmético. Em seguida, no *software* QGIS (versão 3.34.9), foi empregada a ferramenta “Interpolação IDW” para gerar o mapa de espacialização da precipitação na região estudada.

Quadro 1: Informações das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

ID	Estações Pluviométricas		Município	Coordenadas		Agência de monitoramento
	Código	Nome		X (mE)	Y (mN)	
01	201	Camaragibe	Camaragibe	280429,99	9112770,32	APAC
02	30	Várzea	Recife	284099,66	9110874,31	APAC
03	834007	Curado	Recife	284084,05	9108630,93	INMET
04	604	Cidade da Copa	Jab. Guararapes	280955,39	9106755,20	APAC
05	268	Bar. Duas Unas	Jab. Guararapes	275352,86	9104946,52	APAC
06	260790103A	Cavaleiro	Jab. Guararapes	282807,09	9104562,90	Cemaden
07	834017	Afogados	Recife	290625,45	9106369,92	ANA
08	261160615A	Ibura	Recife	284584,71	9101695,44	Cemaden
09	260790106A	Piedade	Jab. Guararapes	289120,76	9098177,42	Cemaden
10	202	Jab. Guararapes	Jab. Guararapes	288155,91	9097110,93	APAC

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Formato das vertentes: Os dados relativos ao formato das vertentes foram obtidos junto ao Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), na quadrícula 08S36, com resolução espacial de 30 metros, em formato matricial.

Orientação das vertentes: A partir do MDE proveniente do PE3D, foram determinadas as orientações das vertentes, representadas nas oito direções cardeais, além da superfície plana.

Todos os dados espaciais utilizados neste estudo foram processados no *software* livre QGIS (versão 3.34.9), com coordenadas UTM (Fuso 25 S) e no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS, 2000).

3.2 Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade a movimentos de massa

Nesta etapa, os fatores selecionados passaram por um processo de reclassificação, realizado com base na atribuição de notas. Essas notas variaram entre os valores inteiros de 1 a 10, sendo o valor 1 correspondente às classes dos fatores menos suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa, enquanto o valor 10 foi atribuído às classes mais suscetíveis. O Quadro 2 apresenta a distribuição das notas das classes dos fatores, utilizadas para a realização dessa reclassificação.

A reclassificação dos dados espaciais, conforme as notas atribuídas no Quadro 1, foi realizada utilizando o QGIS (versão 3.34.9). Os arquivos originalmente no formato vetorial foram convertidos para o formato matricial, para realização desse processo.

Quadro 2: Reclassificação das classes dos fatores, conforme a suscetibilidade ao movimento de massas.

Fator	Classe	Nota	Fator	Classe	Nota
Declividade (%)	0 - 3	1	Geologia (Subprovíncias Estruturais)	Barreiras	1
	3 - 8	3		Cobertura Cenozóica Indiscriminada	1
	8 - 20	5		Corpo d'Água Continental	1
	20 - 45	8		Depósitos Sedimentares Cenozóicos Costeiros	1
	45 - 75	9		Pernambuco-Alagoas	8
	> 75	10		Zona Transversal	8
Hipsometria (m)	0 - 20	1	Pluviosidade (mm)	1.500 - 2.000	8
	20 - 40	3		2.000 - 2.500	9
	40 - 60	5	Formato das vertentes	Côncava-convergente	9
	60 - 80	7		Retilínea-convergente	8
	80 - 100	8		Convexa-convergente	6
	100 - 120	9		Côncava-planar	7
	120 - 140	10		Retilínea-planar	6
Uso e cobertura da terra	Agropecuária	9		Convexa-planar	5
	Área urbanizada	10		Côncava-divergente	6
	Corpo hídrico	1	Retilínea-divergente	4	
	Mangue	2	Convexa-divergente	3	
	Solo exposto	5	Orientação das vertentes	Plano	1
	Vegetação campestre	2		Norte	2
	Vegetação florestal	1		Nordeste	5
Pedologia (tipos de solo)	Argissolo Vermelho-Amarelo	7		Leste	10
	Gleissolo Háptico	6		Sudeste	7
	Latossolo Amarelo	3		Sul	8
	Luvissolo Crômico	2		Sudoeste	4
	Neossolo Flúvico	1	Oeste	2	
	Solo de mangue	2	Noroeste	1	

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Carmo *et al.* (2017) e Pessoa Neto *et al.* (2024).

3.3 Aplicação do AHP

Neste estudo, o método adotado para o mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejipió se fundamentou na aplicação do AHP. Desenvolvido por Thomas L. Saaty no final da década de 1970, esse método se destaca como uma ferramenta importante para a MCDM.

O AHP baseia-se na comparação pareada de múltiplos critérios, sejam quantitativos ou qualitativos, utilizando uma escala pré-definida. Esse processo possibilita evidenciar a importância relativa de cada critério de forma hierárquica, facilitando a tomada de decisão (Lira; Francisco; Feiden, 2022).

Para aplicar o AHP, os fatores analisados foram elencados em uma Matriz de Comparação Pareada, apresentada pelo Quadro 3. Nessa matriz, os valores de importância de um fator em relação ao outro, atribuídos em cada comparação, foram determinados conforme as justificativas estabelecidas pela Escala Fundamental de Saaty (Quadro 4).

Quadro 3: Matriz de Comparação Pareada.

Fator	fator 1	...	fator p	...	fator n
fator 1	1	...	a_{1p}	...	a_{1n}
...
fator p	a_{p1}	...	1	...	a_{pn}
...
fator n	a_{n1}	...	a_{np}	...	1

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Saaty, 1977.

Quadro 4: Matriz de Comparação Pareada.

Valores	Descrição da importância	Justificativa
1	Igual	Os dois fatores contribuem equitativamente.
3	Moderada	O fator comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	Forte	Julgamento favorecendo fortemente um fator sobre o outro.
7	Muito forte	Um fator é fortemente favorecido, com demonstração na prática.
9	Extrema	O fator comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2, 4, 6 e 8	Intermediária	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty, 1977.

Após a comparação pareada, foi possível estabelecer uma hierarquia de importância dos fatores avaliados (vetor de pesos), considerando a importância de cada um em relação à suscetibilidade a movimentos de massa. O processo de construção desse vetor de pesos pode ser verificado no Quadro 5.

Quadro 5 – Vetor de pesos associado a Matriz de Comparação Pareada.

Fator	fator 1	...	fator p	...	fator n	Auto-vetor	Pesos
fator 1	1	...	a_{1p}	...	a_{1n}	$\bar{g}_1 = \sqrt[n]{1 \times \dots \times a_{1p} \times \dots \times a_{1n}}$	$\omega_1 = \frac{\bar{g}_1}{S}$
...
fator p	a_{p1}	...	1	...	a_{pn}	$\bar{g}_p = \sqrt[n]{a_{p1} \times \dots \times 1 \times \dots \times a_{pn}}$	$\omega_p = \frac{\bar{g}_p}{S}$
...
fator n	a_{n1}	...	a_{np}	...	1	$\bar{g}_n = \sqrt[n]{a_{n1} \times \dots \times a_{np} \times \dots \times 1}$	$\omega_n = \frac{\bar{g}_n}{S}$
Soma (ωS)	$\sum_{p=1}^n a_{p1}$...	$\sum_{p=1}^n a_{pp}$...	$\sum_{p=1}^n a_{pn}$	$S = \sum_{p=1}^n \bar{g}_p$	1

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Saaty, 1977.

A partir do estabelecimento do vetor de pesos, foi preciso avaliar a sua consistência, com base nos critérios definidos por Saaty (1977). Essa análise foi realizada por meio do cálculo da Razão de Consistência (RC) (Equação 1), que compreende a relação do Índice de Consistência (IC) com o Índice Randômico (IR). De acordo com Saaty (1987), para que os julgamentos sejam considerados confiáveis, o valor da RC deve ser menor que 10%.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (Eq 1)$$

Onde:

- RC é a Razão de Consistência,
- IC é o Índice de Consistência,
- IR é o Índice Randômico.

O IC é calculado a partir do modelo matemático apresentado na Equação 2 e o IR (Tabela 1) é determinado por um valor proposto por Saaty (1987), que varia segundo o número “n” de fatores elencados na Matriz de Comparação Pareada.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (Eq 2)$$

Onde:

- IC é o Índice de Consistência,
- n é o número de fatores elencados na Matriz de Comparação Pareada,
- $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o Autovalor máximo.

Tabela 1: Índices Randômicos (IR).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987).

3.4 Álgebra de mapas e elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa

As camadas dos fatores selecionados para este estudo reclassificadas na etapa anterior foram combinadas com o vetor de pesos obtido por meio da aplicação do AHP. Para essa associação, foi empregado o modelo matemático apresentado na Equação 3.

$$M = \omega_D \times D + \omega_H \times H + \omega_U \times U + \omega_S \times S + \omega_G \times G + \omega_P \times P + \omega_F \times F + \omega_O \times O \quad (Eq 3)$$

Onde:

- M é o Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa,
- ω é o Peso do respectivo fator, que é obtido pela aplicação AHP,
- D é a Declividade,

- H é a Hipsometria,
- U é o Uso e cobertura da terra,
- S é a Pedologia,
- G é a Geologia,
- P é a Pluviosidade,
- F é o Formato das vertentes,
- O é a Orientação das vertentes.

Após a utilização da álgebra de mapas, o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa foi reclassificado conforme os critérios estabelecidos na Tabela 2.

Tabela 2: Reclassificação do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.

Valor do Pixel	Valor da reclassificação	Nível de suscetibilidade
0 - 3,50	1	Muito baixa
3,51 - 4,50	2	Baixa
4,51 - 5,50	3	Média
5,51 - 6,50	4	Alta
6,51 - 10,00	5	Muito alta

Fonte: Adaptado pelos autores, a partir do IBGE (2019).

Objetivando avaliar a eficácia da metodologia aplicada neste estudo, o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa da bacia hidrográfica do rio Tejipló foi validado por meio da comparação com registros fotográficos dos locais onde processos de movimentos de massa ocorreram de maneira mais expressiva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização do SIG possibilitou a elaboração dos mapas que representam o comportamento da região em estudo em relação aos fatores que condicionam aos movimentos de massa selecionados para este estudo (Figura 3).

Quanto à topografia da bacia do rio Tejipló, as diferentes classes de declividade (A) e as cotas altimétricas (B) estão distribuídas ao longo do território, de maneira que as áreas planas e de menor altitude ocupam a porção leste da bacia, predominantemente formada por zonas urbanizadas. Por outro lado, as regiões mais íngremes e com altitudes mais elevadas estão localizadas na parte noroeste da região. Movimentos de massa ocorrem com maior frequência nas encostas mais íngremes e nas áreas de maior altitude (Soyaslan; Hepdeniz, 2024).

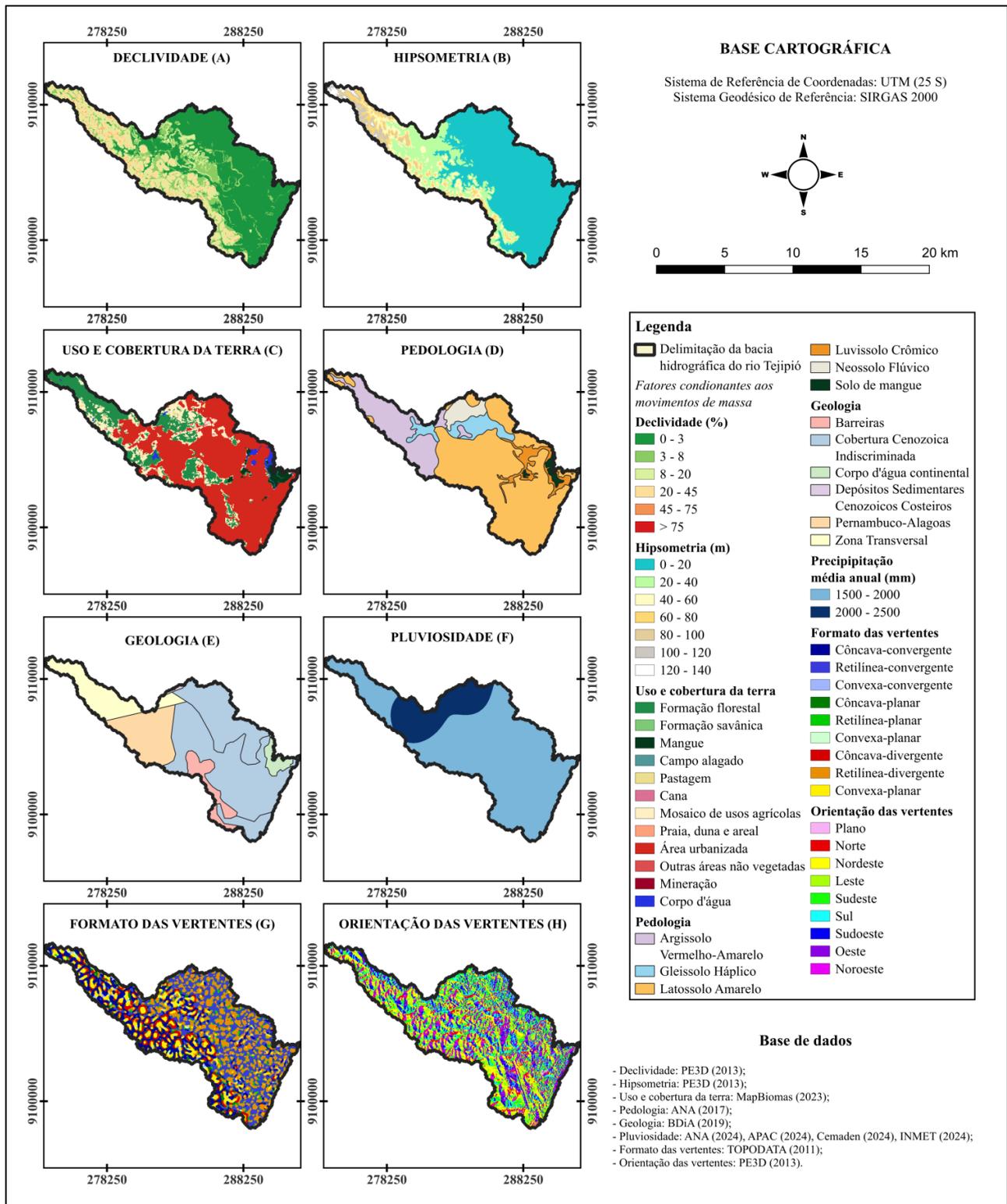


Figura 3 - Mapas dos fatores, selecionados para este estudo, que condicionam aos movimentos de massa. **Fonte:** Elaborado pelos autores, 2025.

Em relação ao uso e cobertura da terra (C), a área urbanizada predomina nas porções litorânea e central do território, enquanto a formação florestal ocupa principalmente a região noroeste, em seu alto curso. As demandas da população, como a conversão de áreas florestais em espaços urbanos e agrícolas, bem como as

intervenções nas encostas de maneira irregular, impactam diretamente as mudanças no uso da terra (SINGH *et al.*, 2024). Esse tipo de alteração favorece a ocorrência de movimentos de massa, uma vez que afeta a estabilidade das encostas, influenciando processos hidrológicos e mecânicos (Jurcescu *et al.*, 2023).

Acerca da pedologia (D), o Latossolo Amarelo, um solo mais arenoso, predomina no local. O Argissolo Vermelho-Amarelo e o Gleissolo Háplico, solos mais argilosos, são encontrados, respectivamente, nas regiões noroeste e centro-norte da área. A permeabilidade das camadas do solo, influenciada por sua composição, determina a velocidade com que a água se infiltra e satura a encosta, contribuindo com o risco de movimentos de massa (Roslee, 2020). O elevado teor de argila torna as encostas mais suscetíveis a esse processo, devido à sua natureza expansiva e à baixa resistência ao cisalhamento (Nseka *et al.*, 2022).

No que diz respeito à geologia (E), as subprovíncias estruturais associadas às coberturas Cenozóicas abrangem maior parte do território estudado. As sub-províncias Pernambuco-Alagoas e Zona Transversal, que aumentam a suscetibilidade a movimentos de massa, estão localizadas na porção norte da região. Já as subprovíncias relacionadas a Barreiras, Corpos d'águas continentais e Depósitos Sedimentares Cenozóicos Costeiros aparecem em pequenas proporções. A natureza litológica do solo é um fator importante na identificação da suscetibilidade a movimentos de massa, influenciando tanto pela composição dos materiais (qualidade geotécnica das rochas) quanto pela estrutura (inclinação das camadas geológicas) (Elmoulat *et al.*, 2021).

Em relação à espacialização da precipitação média anual (F), os maiores índices, variando de 2.000 mm a 2.500 mm, são verificados na porção centro-norte da região. Eventos extremos de precipitação resultam na saturação do solo e, conseqüentemente, no processo de movimento de massa, pois, nessas condições, as encostas apresentam instabilidade com o peso em excesso (Soyaslan; Hepdeniz, 2024). Essa propensão é agravada pela combinação da precipitação intensa com formações geológicas de baixa resistência e pela cobertura vegetal fortemente degradada por intervenções antrópicas, o que resulta em um tempo de resposta muito mais rápido para os movimentos de massa (Elmoulat *et al.*, 2021).

As classes dos fatores formato (G) e orientação (H) das vertentes estão distribuídas de maneira equilibrada ao longo da região. Encostas côncavas tendem a reter água, o que pode aumentar a instabilidade do solo, enquanto as encostas convexas favorecem a drenagem (Ivančić *et al.*, 2020). Já o fator orientação está principalmente relacionado à

variação na precipitação ou à sua escassez nas encostas, além da exposição ao vento e à radiação solar (Soyaslan; Hepdeniz, 2024).

A Matriz de Comparação Pareada elaborada para este estudo está representada no Quadro 6. Após a atribuição dos pesos a cada fator, foi necessário verificar a consistência dos resultados obtidos no vetor. Com base nessa análise, foram alcançados um IC de 0,11 e uma RC de 7,88%. Como o valor da RC é inferior a 10%, os resultados obtidos foram considerados consistentes, conforme os critérios determinados por Saaty (1987).

Quadro 6: Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos fatores que influenciam na suscetibilidade a movimentos de massa elencados para este estudo.

Fator	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	Pesos (ω)
Declividade (A)	1	5	4	4	3	9	6	8	0,38
Hipsometria (B)	1/5	1	1/2	1/2	1/5	5	5	7	0,07
Uso e cobertura da terra (C)	1/4	2	1	1/3	1/4	6	4	6	0,08
Pedologia (D)	1/4	2	3	1	1/3	7	3	5	0,13
Geologia (E)	1/3	5	4	3	1	8	3	5	0,25
Pluviosidade (F)	1/9	1/5	1/6	1/7	1/8	1	1/5	1/7	0,02
Formato das vertentes (G)	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	5	1	5	0,04
Orientação das vertentes (H)	1/8	1/7	1/6	1/5	1/5	7	1/5	1	0,03

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A partir da consistência do vetor de pesos, foi possível desenvolver o modelo matemático necessário para a concepção do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejipió, conforme Equação 4. Esse modelo foi então processado no ambiente SIG, resultando no mapa apresentado na Figura 4.

$$M = 0,38D + 0,07H + 0,08U + 0,13S + 0,25G + 0,02P + 0,04F + 0,03O \quad (\text{Eq 4})$$

O mapeamento da região em estudo, acerca da suscetibilidade a movimentos de massa, indicou que as classes com menor propensão ao processo abrangem uma área de 61,87 km², o que corresponde a 68,81% do território. Essas áreas estão localizadas na porção leste da bacia, caracterizada por áreas planas, de baixas altitudes, com solos arenosos e sobre a subprovíncia estrutural da cobertura cenozóica indiscriminada. Em contrapartida, as áreas mais suscetíveis a movimentos de massa, representadas pelas classes de suscetibilidade alta e muito alta, correspondem a 20,71% da bacia. Essas áreas estão predominantemente situadas em regiões mais íngremes e elevadas, com solos argilosos, e sobre as subprovíncias estruturais Pernambuco-Alagoas e Zona Transversal.

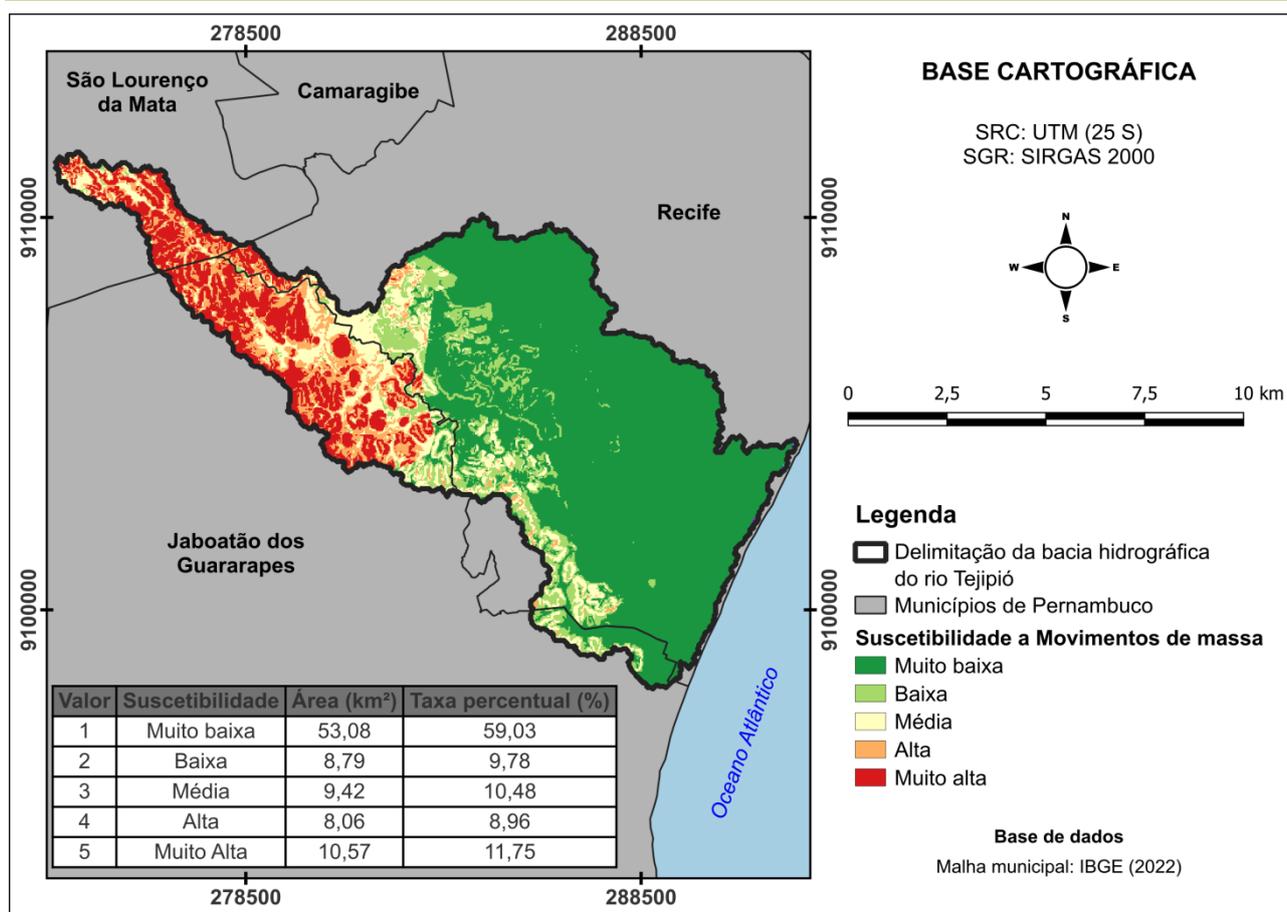


Figura 4 - Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejiptó.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Esses resultados corroboram as verificações de Pessoa Neto *et al.* (2024), que identificaram que as áreas mais propensas a movimentos de massa na bacia do rio Tejiptó estão localizadas em regiões de maior declividade, com solos arenosos e geomorfologia caracterizada pelos Tabuleiros Orientais do Nordeste. Silva *et al.* (2017), por meio de análise bibliográfica, entrevistas e levantamento de campo, destacaram que a ocorrência de movimentos de massa na bacia do rio Tejiptó está fortemente relacionada a fatores como a dinâmica climática e geomorfológica favoráveis ao processo, retificações nos cursos fluviais e a ocupação desordenada de encostas íngremes e com vegetação esparsa.

A maioria das ocupações desordenadas localizadas nas áreas de maior suscetibilidade a movimentos de massa está concentrada em regiões com infraestrutura deficitária, o que intensifica a instabilidade das encostas, principalmente nas mais declivosas (Xavier; Listo; Nery, 2022). É bastante comum verificar nesses tipos de ocupação a ausência de serviços essenciais de saneamento básico, como o manejo adequado das águas servidas e pluviais e a coleta de resíduos sólidos, além de restrições significativas na mobilidade urbana (Pereira; Listo, 2023). Esse tipo de evidência pode ser

verificado na Figura 5, que apresenta ocupações desordenadas em áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa na região do estudo.

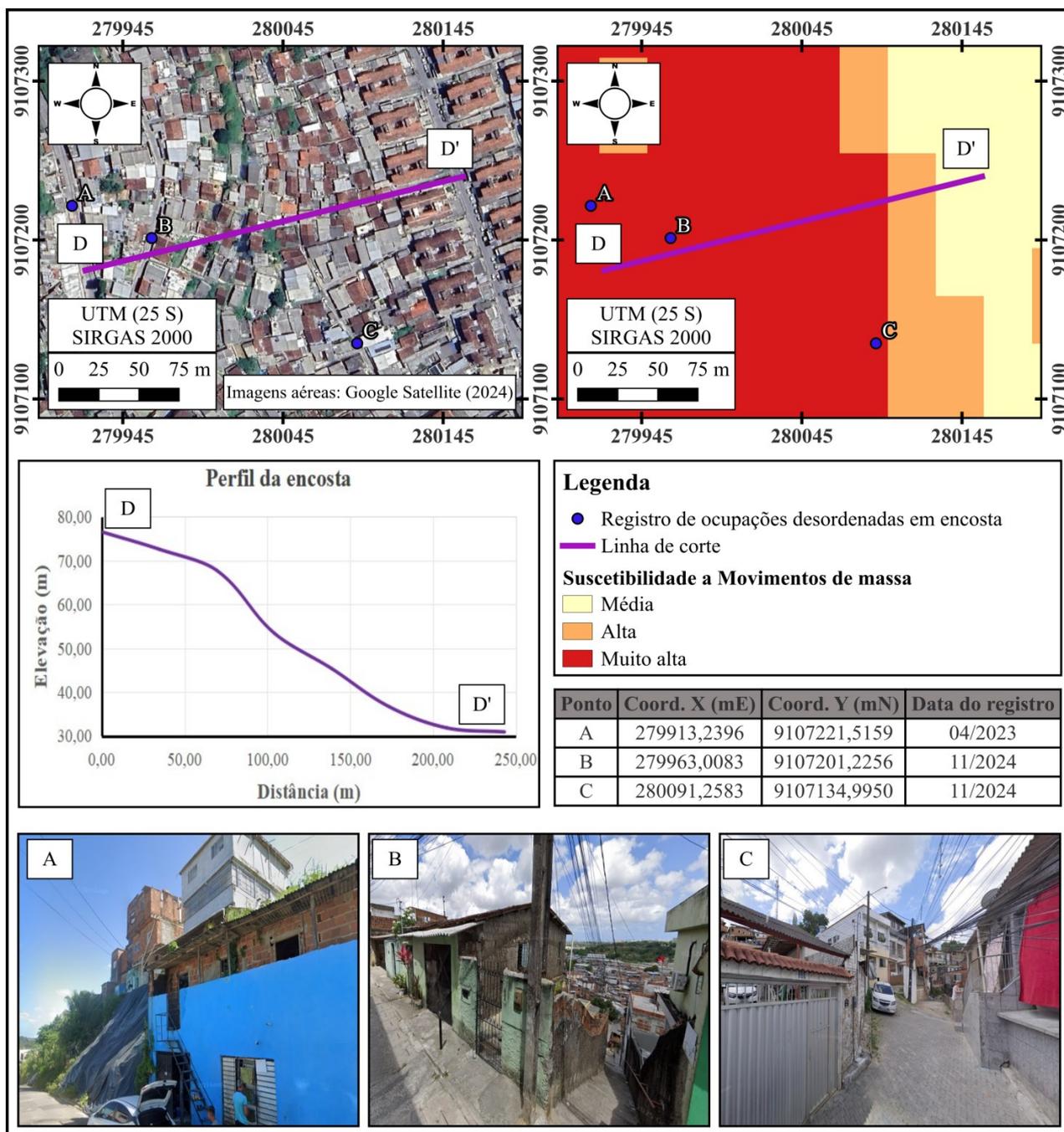


Figura 5 - Ocupações desordenadas em regiões de elevada suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejiipi. **Fonte:** Elaborado pelos autores, 2025.

Estudos similares apresentaram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho. Effgen e Marchioro (2018) identificaram que as áreas de maior suscetibilidade a movimentos de massa no município de Vila Velha, no Espírito Santo, estão localizadas em terrenos mais declivosos, com alternância entre curvaturas horizontais divergentes e

convergentes e situadas sobre a cobertura superficial do Maciço Vitória. De forma análoga, Souza, Mesquita e Bruch (2021) observaram, na região do Vale do Taquari, no Rio Grande do Sul, que as áreas de maior suscetibilidade a movimentos de massa estão associadas a altitudes elevadas e curvaturas côncavas.

Ortiz, Martínez-Graña e Méndez (2023) constataram que o fator declividade exerce uma influência significativa na ocorrência de movimentos de massa na região de Bucaramanga, Colômbia, sendo que a cobertura da terra, composta pela área urbana, e a litologia de baixa resistência também desempenham relativa importância nesse processo. De maneira semelhante, Asmare (2023) realizou um estudo sobre o monte Choke, noroeste da Etiópia, e observou que as áreas com maior propensão a movimentos de massa são aquelas caracterizadas por altimetria acentuada, fortes inclinações e próximas a corpos d'água e a rodovias.

Buscando validar as constatações apresentadas nesta pesquisa, foi realizada uma investigação sobre movimentos de massa na região do estudo. Como apresentado na Figura 6, foram coletados quatro registros fotográficos que evidenciam episódios de movimentos de massa nas áreas classificadas neste estudo como altamente suscetíveis

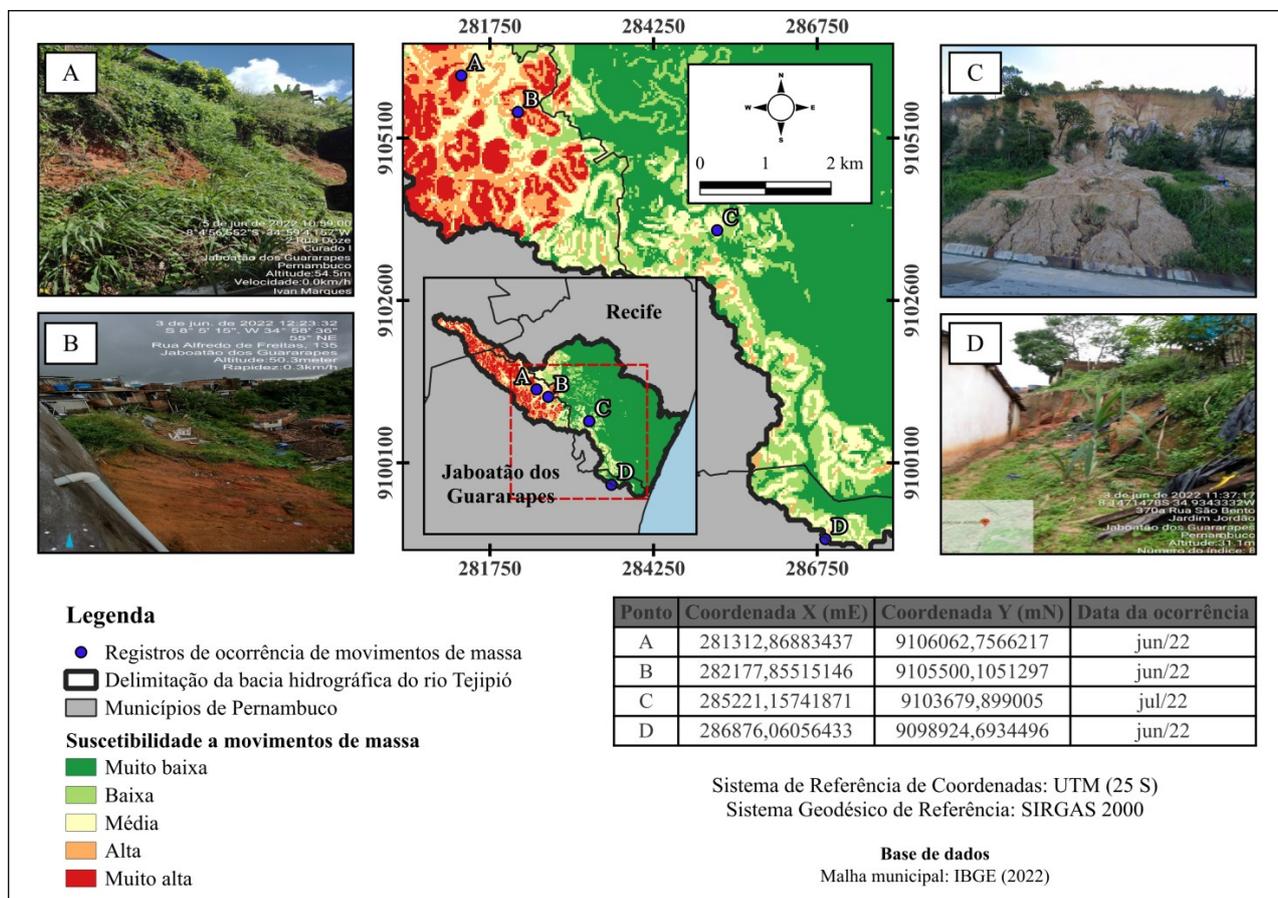


Figura 6 - Registros de ocorrências de movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejupió.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Em continuidade à investigação sobre os movimentos de massa na área estudada, foram identificadas ações implementadas por meio de medidas de controle estruturais e não estruturais, incluindo SBN, como apresenta a Figura 7.

Os registros dos movimentos de massa na bacia do rio Tejipió, apresentados na Figura 6, confirmam a eficácia da metodologia empregada neste estudo, atestando sua precisão. Esses resultados indicam que o mapeamento elaborado pode ser uma ferramenta útil para os órgãos competentes na formulação de políticas públicas voltadas à mitigação desse fenômeno, especialmente com o uso de SBN, conforme exibido na Figura 7.

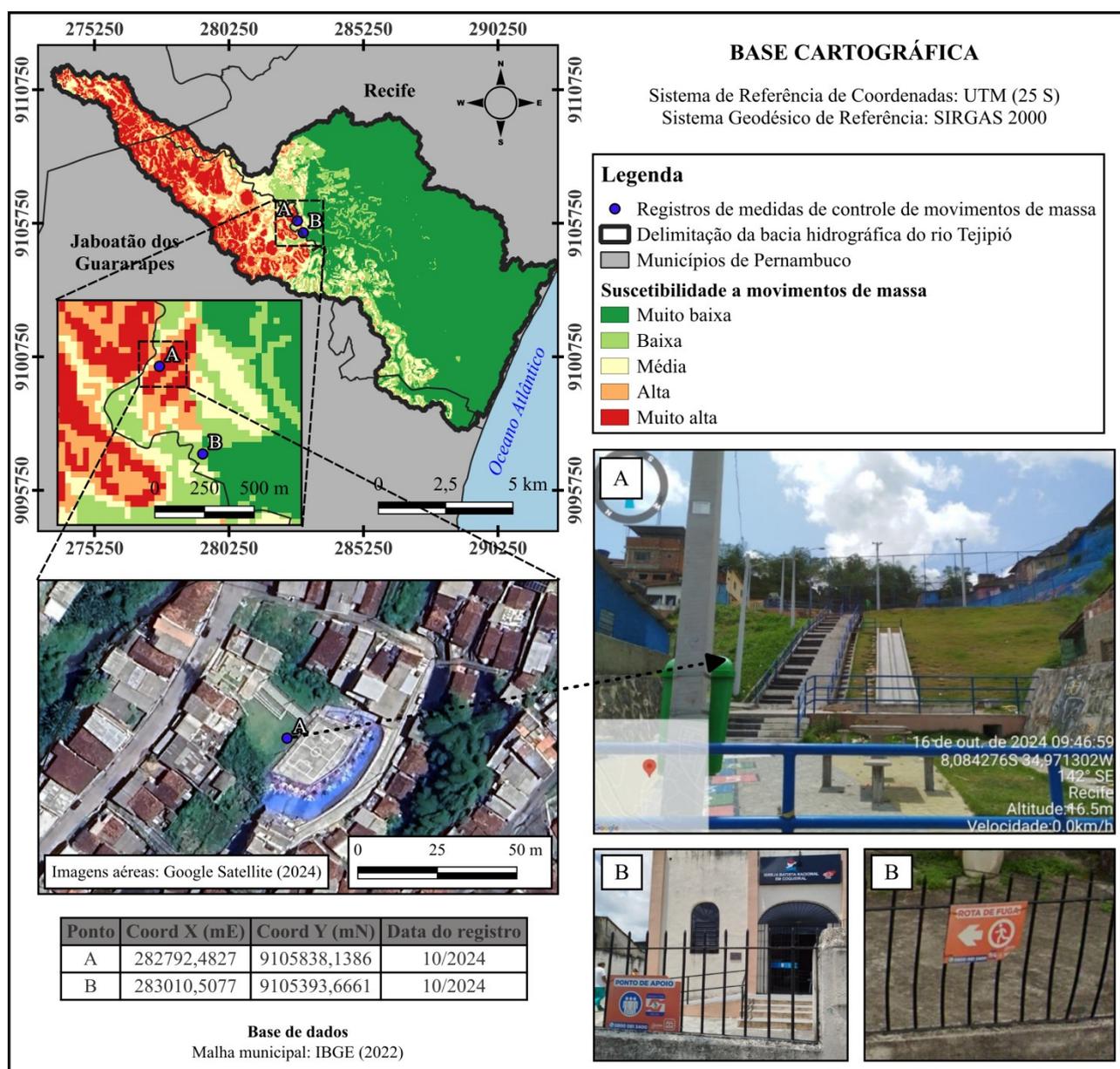


Figura 7 - Registros de medidas de controle de movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejipió.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A elaboração de um mapeamento preciso da suscetibilidade a movimentos de massa constitui uma importante abordagem não estrutural no planejamento e na gestão de riscos. Ele facilita a elaboração de estratégias mais eficazes para a prevenção, proteção e redução dos impactos negativos associados a esses eventos, contribuindo para a melhoria da resiliência das áreas afetadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste estudo revelam que uma área de 9,42 km² da bacia hidrográfica do rio Tejipió possui moderada suscetibilidade a movimentos de massa, o que corresponde a 10,48% do território. As áreas com baixa e alta propensão a esses eventos representam, respectivamente, 68,81% e 20,71% da bacia. As regiões classificadas como de alta suscetibilidade estão associadas a uma combinação de fatores, incluindo declividade e altitude elevadas, solos argilosos e localização nas subprovíncias estruturais Pernambuco-Alagoas e Zona Transversal.

A metodologia adotada para o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa revela-se uma alternativa eficiente e aplicável, oferecendo aos gestores e profissionais da área uma importante ferramenta para a tomada de decisões mais assertivas. Isso se deve à facilidade de acesso, armazenamento e manipulação de dados espaciais, possibilitando uma grande variedade de aplicações, sobretudo em locais em que o acesso é restrito.

Apesar do modelo desenvolvido neste estudo apresentar uma abordagem robusta e eficaz para o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa, sua validação em outras áreas, com características físico-naturais distintas, é essencial para aprimorar a precisão e a aplicabilidade da metodologia. A utilização do modelo em diferentes contextos pode ampliar seu alcance e oferecer uma ferramenta mais abrangente para a gestão de riscos naturais em diversas regiões. A aplicação do modelo em outros locais também permitirá ajustar parâmetros e refinar as estratégias de mitigação.

Por fim, ressalta-se a importância deste estudo como subsídio para o desenvolvimento de um planejamento urbano, com foco no uso ordenado da terra. Além disso, espera-se que contribua para a implementação de medidas mitigadoras, como as SBN, visando à redução dos impactos negativos causados por movimentos de massa.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Catálogo de Metadados ANA: Pedologia**. 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records>. Acesso em: 11 fev. 2025.

ARAÚJO, B. H. B. de; LIMA, D. de A.; LIRA, B. S.; SANTOS JÚNIOR, O. F. dos. Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massas na área urbana de Areia-PB. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 10, n. 2, p. 420-437, 2024.

ASMARE, D. Application and validation of AHP and FR methods for landslide susceptibility mapping around Choke mountain, northwestern Ethiopia. **Scientific African**, v. 19, p. e01470, 2023.

BDiA - Banco de Dados e Informações Ambientais. **Temas**. 2019. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 11 fev. 2025.

BENNETT, I. B.; BIERMAN, P. R. A century of urban landslides: the legacy and consequences of altering riverbank landscapes. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 57, n. 2, p. 032, 2024.

BISPO, C. O.; LISTO, F. L. R.; LISTO, D. G. S.; FALCÃO, N. A. M. Suscetibilidade induzida a escorregamentos, via aplicação do método AHP. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema, v. 5, n. 1, p. 298-314, 2020.

CARMO, A. M.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R.; LOPES, P. S.; SABADIA, J. A. B. Avaliação de susceptibilidade de risco à erosão, utilizando as variáveis morfométricas, para as serras da porção sul do Maciço central do Ceará. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 9, p. 1787-1804, 2017.

CARVALHO, R. P. B.; BRANDÃO, C. B. Interações entre pluviosidade e a intensificação de processos geomorfológicos em bacias hidrográficas urbanas: um estudo aplicado nas bacias do rio Grande e rio Anil no município do Rio de Janeiro. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 37, p. e35486, 2020.

COSTA, A. M.; OLIVEIRA, N. E. G.; LEAL, V. F. de B.; MOLENA, C.; MELILLO, R. C. S.; SOARES, E. R. Análise das áreas com risco de inundações urbanas e escorregamentos de terra em três bairros do município de Jundiá-SP. **South American Sciences**, v. 3, n. 1, p. e22158, 2022.

DAS, S.; ANGADI, D. P. Land use-land cover (LULC) transformation and its relation with land surface temperature changes: a case study of barrackpore subdivision, west Bengal, India. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 19, p. 100322, 2020.

EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Vila Velha-ES, com o uso de análise de processos hierarquizados (AHP). **Geosciences = Geociências**, Rio Claro, v. 36, n. 4, p. 731-742, 2022.

ELMOULAT, M.; BRAHIM, L. A.; ELMAHSANI, A.; ABDELOUAFI, A.; MASTERE, M. Mass movements susceptibility mapping by using heuristic approach. Case study: province of Tétouan (north of Morocco). **Geoenvironmental Disasters**, v. 8, n. 1, p. 1-19, 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. 1979. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 83p.

FERREIRA, A. B. R.; ZACHARIAS, A. A.; FONSECA, B. M.; CARDOZO, F. S.; ZUCHERATO, B. Modelagem ambiental de áreas suscetíveis à inundação e aos movimentos de massa. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 33, n. 75, p. 1329-1358, 2023.

GOMES NÉTO, N. C. G.; SOUZA, L. do N. de; CASTRO, C. A. F.; COSTA, D. de A.; FERREIRA, M. I. P. Soluções Baseadas na Natureza aplicadas à conservação e à gestão integrada das águas – Um estudo prospectivo à luz da Agenda 2030 da ONU. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 1, n. 51, p. 30-43, 2020.

GOUDIE, A. Water Erosion and Mass Movements. In: GOUDIE, A. (org.). **Landscapes of the Anthropocene with Google Earth**. Switzerland: Springer Nature Switzerland, 2023. cap. 9, p. 191-219.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 54p

IVANČIČ, K.; JEŽ, J.; MILANIČ, B.; KUMELJ, Š.; ŠMUC, A. Application of a mass movement susceptibility model in the heterogeneous Miocene clastic successions of the Slovenj Gradec Basin, northeast Slovenia. **Acta geographica Slovenica**, Ljubljana, v. 60, n. 1, p. 61-78, 2020.

JASSIM, A.; HUSSAIN, A.; AL-SHWAILY, A. Assessment of Landslide Susceptibility using the AHP and GIS Techniques for the Zurbatiya Region, East of Iraq. **Iraqi Geological Journal**, v. 56, n. 2, p. 201-213, 2023.

JURCHESCU, M.; KUCSICSA, G.; MICU, M.; BĂLTEANU, D.; SIMA, M.; POPOVICI, E. Implications of future land-use/cover pattern change on landslide susceptibility at a national level: a scenario-based analysis in Romania. **Catena**, v. 231, p. 107330, 2023.

KARYMBALIS, E.; ANDREOU, M.; BATZAKIS, D.; TSANAKAS, K.; KARALIS, S. Integration of GIS-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process for flood-hazard assessment in the Megalo Rema River Catchment (East Attica, Greece). **Sustainability**, v. 13, n. 18, p. 10232, 2021.

LI, Y.; HUANG, Y. Research on Landslide Disaster Risk Assessment and Mitigation Strategies Based on GIS. **Sustainability in Environment**, v. 9, n. 3, p. 25-39, 2024.

LI, Y.; WANG, X.; MAO, H. Influence of human activity on landslide susceptibility development in the Three Gorges area. **Natural Hazards**, v. 104, n. 3, p. 2115-2151, 2020.

LIMA, F. F. O.; KONRAD, O.; FEITOSA, A. K. Process of urbanization and urban occupation and its environmental, social and economic impacts. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 2, p. e3281, 2024.

LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 34, n. 1, p. e62872, 2022.

LIU, X.; SHAO, S.; SHAO, S. Landslide susceptibility zonation using the analytical hierarchy process (AHP) in the Great Xi'an Region, China. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 2941, 2024.

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Coleções MapBiomias**. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 11 fev. 2025.

MOUSSA, E. L.; FRANCISCO, C. N.; ROSA, F. B. Análise socioespacial da população atingida por movimentos de massa na periferia da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **GEOgraphia**, Niterói, v. 25, n. 54, p. e50080, 2023.

NSEKA, D.; KAKEMBIO, V.; MUGAGGA, F.; SEMAKULA, H.; OPEDES, H.; WASSWA, H.; AYESIGA, P. Implications of Soil Properties on Landslide Occurrence in Kigezi Highlands of South Western Uganda. In: ZHANG, Y.; CHENG, Q. (Orgs.). **Landslides**, London: IntechOpen, 2022. cap. 3, p. 1-26.

OLIVEIRA, M. E. G.; SILVA, M. V.; ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; LOPES, P. M. O.; MANRIQUE, D. R. C.; SANTOS, A.; JARDIM, A. M. R. F.; GIONGO, P. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Investigation of pre and post environmental impact of the lockdown (COVID-19) on the water quality of the Capibaribe and Tejipió rivers, Recife Metropolitan Region, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, p. 103965, 2022.

ORTIZ, J. A. V.; MARTÍNEZ-GRAÑA, A. M.; MÉNDEZ, L. M. Evaluation of Susceptibility by Mass Movements through Stochastic and Statistical Methods for a Region of Bucaramanga, Colombia. **Remote Sensing**, v. 15, n. 18, p. 4567, 2023.

PE3D - Projeto Pernambuco Tridimensional. **Mapeamento do Território Pernambucano**. 2013. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php>. Acesso em: 11 fev. 2025.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R. da; LAFAYETTE, K. P. V.; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejipió, em Pernambuco. **Revista Geotemas**, Pau dos Ferros, v. 14, n. 1, p. e02404, 2024.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R. da; LAFAYETTE, K. P. V.; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, Goiânia, v. 9, n. 1, p. 1-23, 2023.

PEREIRA, T. M.; LISTO, F. L. R. Análise da vulnerabilidade a escorregamentos no município de Camaragibe-PE como subsídio à gestão de riscos. **GeoPUC**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 29, p. e00018, 2023.

PORTO, D. S. G. F.; AZEVEDO, R. C. de; VILLAR, L. F. de S.; SANTOS, H. de A.; PORTO, T. B. Zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamentos no município de Ouro

Preto - Minas Gerais - Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 25, n. 102, p. 328-348, 2024.

ROSLEE, R. Effects of physical and mechanical properties of residual soil on sliding area at Bundu Tuhan, Sabah, Malaysia. **Geological Behavior**, v. 4, n. 1, p. 18-25, 2020.

SANTOS, A. M. S. P. Política urbana no Brasil: A difícil regulação de uma urbanização periférica. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 36, p. e47269, 2020.

SANTOS, S. L. dos; SANTOS, M. O. dos. O processo de urbanização e desigualdades – padrões socioespaciais e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Recife. **Estudos Universitários: revista de cultura**, Recife, v. 40, n. 2, p. 95-133, 2023.

SANTOS, T. A. O urbanismo como economia política do/no espaço: reflexões a partir do processo de metropolização de Belo Horizonte. **GEOgraphia**, Niterói, v. 23, n. 51, 2021.

SANTOS, T. G.; FERREIRA, A. B. R.; VENTORINI, S. E.; ZACHARIAS, A. A.; TEIXEIRA, A. L. Análise Multicriterial de Decisão aplicada às áreas suscetíveis a inundação na bacia do córrego do Lenheiro - São João Del-Rei, Minas Gerais. **GEOgraphia**, Niterói, v. 24, n. 53, p. e47218, 2022.

SEINFRA - Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco - PERH/PE**. 2022. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 11 fev. 2025.

SHARMA, S.; JOSHI, P. K.; FÜRST, C. Exploring Multiscale Influence of Urban Growth on Landscape Patterns of Two Emerging Urban Centers in the Western Himalaya. **Land**, v. 11, n. 12, p. 2281, 2022.

SILVA, A. R. da; RODRIGUES, C. J.; FONSECA, A. L. D. Análise da paisagem em bacias hidrográficas costeiras como ferramenta de compreensão da qualidade ambiental. **GEOgraphia**, Niterói, v. 25, n. 54, p. e52892, 2023.

SILVA, C. S.; BISPO, C. O.; SANTANA, G. A. C.; GIRÃO, O. Deslizamentos e enchentes na bacia do rio Tejiopó: percepção e resiliência frente a riscos geomorfológicos. **OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa, v. 11, n. 2, p. 316-337, 2017.

SILVA, T. L. V.; LOPES, Z.; FERREIRA, R.; GUEDES, R.; PEREIRA, R.; PRESTRELO, F.; FERREIRA, A.; GOMES, J.; WANDERLEY, C.; SANTOS, E. Previsão de extremos de chuva em Pernambuco: os eventos de maio de 2022. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 1, p. 646-671, 2023.

SINGH, M.; KHAJURIA, V.; SINGH, S.; SINGH, K. Landslide susceptibility evaluation in the Beas River Basin of North-Western Himalaya: a geospatial analysis employing the analytical hierarchy process (AHP) method. **Quaternary Science Advances**, v. 14, p. 100180, 2024.

SOUZA, T. G. de; MESQUITA, Á. F.; BRUCH, A. F. Evaluation of susceptibility to mass movements from morphometric variables at the interface between the southern plateau and the central depression of the Vale do Taquari region – Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 43, p. e44, 2021.

SOYASLAN, İ.; HEPDENİZ, K. Investigation of the Highway Between Isparta-Ağlasun (Burdur) in Terms of Mass Movement Sensitivity. **International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering**, v. 10, n. 2, p. 117-125, 2024.

SUN, Z.; LI, Z.; ZHONG, J. Analysis of the Impact of Landscape Patterns on Urban Heat Islands: a case study of Chengdu, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 20, p. 13297, 2022.

WANG, S.; PADMANABAN, R.; SHAMSUDEEN, M.; CAMPOS, F. S.; CABRAL, P. Landscape Impacts on Ecosystem Service Values Using the Image Fusion Approach. **Land**, v. 11, n. 8, p. 1186, 2022.

XAVIER, J. P. S.; LISTO, F. L. R.; NERY, T. D. Landslides in the state of Pernambuco. **Mercator**, Fortaleza, v. 21, n. 1, p. 1-16, 2022.

Recebido: 29-05-2025

Aceito: 04-06-2025