

MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEJIPIÓ/PE

Amaury Gouveia Pessoa Neto

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, PE, Brasil
agpn@poli.br

Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, PE, Brasil
klafayette@poli.br

Marcus Metri Corrêa

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, PE, Brasil
marcus.metri@gmail.com

RESUMO

O desenvolvimento urbano, em diversas cidades brasileiras, ocorreu de modo intenso e sem o devido planejamento territorial, levando a significativas intervenções antrópicas, como alterações na paisagem e na cobertura e uso da terra. Além de outras consequências, esse tipo de ação somada às condições climáticas adversas, potencializa a ocorrência de processos erosivos, fenômeno que é considerado um dos problemas ambientais mais significativos enfrentados pelos centros urbanos. Diante dessa circunstância, o presente estudo buscou mapear as áreas suscetíveis a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipió, em Pernambuco. Para produzir esse mapeamento foram utilizados cinco fatores que podem favorecer a ocorrência desse tipo de fenômeno: geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia e cobertura e uso da terra, os quais foram processados no Sistema de Informações Geográficas (SIG), pelas técnicas de reclassificação e álgebra de mapas. Após a composição do mapa de suscetibilidade, foi revelado que as áreas que apresentaram maiores propensões a esse processo são as que possuem áreas mais urbanizadas, solos arenosos e rochas menos coesas. Destaca-se a importância da elaboração desse mapeamento no tocante de subsidiar a implementação de um planejamento urbano e territorial adequado, de modo a abrandar a ocorrência de processos erosivos, reduzindo impactos causados à população.

Palavras-chave: Condições climáticas adversas. Desenvolvimento urbano. Sistema de Informações Geográficas.

MAPPING SUSCEPTIBILITY TO EROSIVE PROCESSES IN THE TEJIPIÓ/PE RIVER BASIN

ABSTRACT

Urban development in several Brazilian cities occurred intensely and without due public planning, leading to significant human interventions, such as changes in the landscape and land cover and use. In addition to other consequences, this type of action combined with adverse weather conditions, increases the occurrence of erosive processes. This phenomenon is considered one of urban centers most significant environmental problems. Given this circumstance, the present study sought to map the susceptible areas to erosion processes in the Tejipió river basin in Pernambuco. In order to produce this mapping, five factors were used that favor the occurrence of this type of phenomenon: geology, geomorphology, pedology, climatology, and land cover and use, which were processed in the Geographic Information System (GIS) using reclassification and algebra techniques of maps. After composing the susceptibility map, it was revealed that the most prone areas to this process are those with more urbanized areas, sandy soils, and less cohesive rocks. The importance of preparing this mapping is highlighted in terms of supporting the implementation of adequate urban and territorial planning to slow down erosion processes and reduce impacts caused to the population.

Keywords: Adverse climatic conditions. Urban development. Geographic Information System.

INTRODUÇÃO

O aumento da pressão sobre os recursos naturais, causado pelo acelerado e desordenado crescimento urbano em cidades do Brasil, tem modificado o equilíbrio dos processos naturais, ultrapassando sua capacidade de suporte. Essas transformações, perceptíveis nos últimos anos, são principalmente impulsionadas pelas ações antrópicas. (Cunha *et al.*, 2018; São Miguel; Medeiros; Gomes, 2018; Colares Et Al., 2022; Fabrício; Almeida, 2022; Chen; Wang; Zeng, 2023; Santos *et al.*, 2023). Além dos impactos ambientais, essa expansão urbana também gera desafios sociais, econômicos e culturais (Santos *et al.*, 2020; Pereira; Souza Júnior; Vieira, 2022; Borges *et al.*, 2023; Moura; Sopchaki, 2023). Apesar da urbanização trazer vantagens para o desenvolvimento regional, seu impacto nos ecossistemas é bastante significativo (Shi *et al.*, 2019; Wang; Wang; Li, 2022; Wu *et al.*, 2022).

Intervenções antrópicas praticadas na cobertura e uso da terra, como a supressão da cobertura vegetal, tornam o solo sensível aos processos de degradação (Simonetti *et al.*, 2018; Paixão, 2022; Oliveira *et al.*, 2023). Dentre os tipos de degradação do solo, se destaca o processo de erosão, que é considerado um dos problemas ambientais mais importantes enfrentados pelos centros urbanos, como também por regiões agrícolas e áreas naturais (Morais; Sales, 2017; Rocha *et al.*, 2018; Cunha; Alexandrini Júnior; Fernandes, 2020).

A erosão é o desprendimento de partículas de solo causado pela gravidade, água, vento ou organismos, podendo ter efeitos prejudiciais ao meio ambiente (Costa; Viana, 2019). Esse fenômeno pode levar à degradação irreversível do solo, afetando o ecossistema e sua função econômica (Petsch *et al.*, 2023). A suscetibilidade dos solos à erosão depende de fatores como clima, tipo de solo, inclinação do terreno e manejo (Santos *et al.*, 2018).

Diante das adversidades provocadas à sociedade por processos erosivos, torna-se fundamental o desenvolvimento de metodologias para identificação das áreas suscetíveis a esse tipo de fenômeno capazes de restringir a ocupação das mesmas e, conseqüentemente, reduzir a ocorrência de transtornos (Costa Junior; Cabral, 2019). Suscetibilidade é a propensão do terreno ao acontecimento de determinado fenômeno e/ou processo físico, independente dos fatores sociais, porém tendo a sociedade como elemento de intervenção, fazendo com que o processo seja acelerado ou retardado (Girão; Rabelo; Zanella, 2018).

Buscando analisar a suscetibilidade processos erosivos no solo, são utilizados métodos diretos, como a coleta do material erodido *in loco*, ou ainda metodologias indiretas, como a aplicação de modelos matemáticos, que pode levar em consideração um conjunto de variáveis distintas (Teixeira; Camargo; Martins Júnior, 2017). Tais métodos podem ser integrados a técnicas de geoprocessamento, aprimorando a compreensão das potencialidades e restrições dos territórios, sejam eles rurais ou urbanos, naturais ou artificiais, preservados ou degradados (Silva *et al.*, 2022).

O geoprocessamento, especialmente por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permite armazenar e processar dados complexos de várias fontes e realizar análises espaciais, gerando mapas temáticos (Sampaio; Robaina, 2019). O mapeamento de suscetibilidade é uma ferramenta essencial para o planejamento urbano, auxiliando a restringir a ocupação de áreas suscetíveis à erosão e a reorganizar o espaço urbano (Quevedo *et al.*, 2020).

Dentre as diversas metodologias aplicadas a mapeamentos de suscetibilidade a processos erosivos, destaca-se a proposta por Crepani *et al.* (2001), que leva em consideração a combinação dos seguintes fatores: geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia e cobertura e uso da terra (Costa; Souza; Silva, 2021). O emprego desse método pode ser verificado em vários estudos que abrangem diversas regiões do Brasil (Moura *et al.*, 2017; Igawa; Maciel, 2018; Rodrigues; Monteiro; Souza, 2018; Mendonça *et al.*, 2020; Costa; Souza; Silva, 2021; Cruz; Santos; Santos, 2021; Moreira, 2022; Fushimi; Oliveira; Nunes, 2023; Gomes; Falcão Sobrinho; Vital, 2023; Petsch *et al.*, 2023).

A bacia hidrográfica do rio Tejipló está situada na porção litorânea do estado de Pernambuco. Esta região enfrenta profundas transformações no espaço devido à expansão desordenada da malha urbana (SILVA *et al.*, 2017). Problemas como a remoção da cobertura vegetal para ocupação de moradias em locais inapropriados, como encostas e margens fluviais, potencializam a ocorrência de erosão do solo na região. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo identificar as áreas suscetíveis a processos erosivos no solo na bacia hidrográfica do rio Tejipló a partir da metodologia desenvolvida por Crepani *et al.* (2001), integrada a técnicas de geoprocessamento.

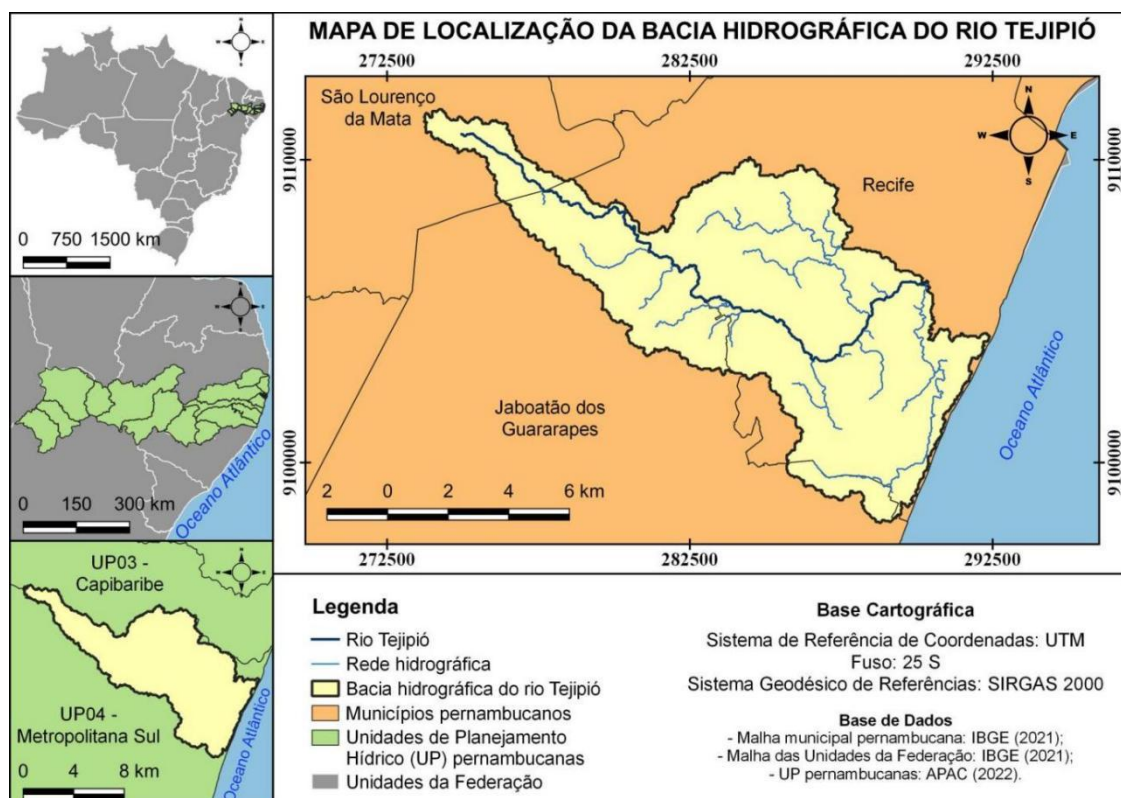
MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da região do estudo

A bacia hidrográfica do rio Tejipió está localizada, em sua totalidade, na Região Metropolitana do Recife (RMR), no estado pernambucano. Compreende-se entre as coordenadas UTM (Fuso 25 S) 9.097.732mN e 9.111.398mN e 274.515mE e 293.463mE e detém uma área aproximada de 90 km² (SILVA et al., 2017).

De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a bacia do rio Tejipió pertence à Unidade de Planejamento Hídrico 04 - UP04, denominada Metropolitana Sul (APAC, 2022). Seu canal principal, o rio Tejipió, apresenta uma extensão de aproximadamente 25 km, tem sua nascente principal no município de São Lourenço da Mata e percorre os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Recife até seu exutório, na bacia do Pina (Figura 1).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Tejipió, em Pernambuco



Fonte: Pessoa Neto, Silva e Barbosa, 2023.

Conforme dados históricos de precipitação disponibilizados por meio de dez postos pluviométricos monitorados por diversos órgãos, sendo da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (uma estação), pela APAC (cinco estações), pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) (três estações) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (uma estação), a bacia hidrográfica do rio Tejipió apresentou índices pluviométricos médios máximo e mínimo mensais respectivos a 333,53 mm e 29,85 mm e média anual de 1.897,94 mm, para um período de 18 anos, compreendido entre 1º de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2021. Na região, os índices máximos mensais de precipitação ocorrem, geralmente, no mês de junho, podendo ser superados, principalmente, na ocorrência de eventos extremos.

Quanto à geomorfologia, a bacia hidrográfica do rio Tejipió apresenta morros em seus alto e médio cursos e planícies costeiras em seu baixo curso. Acerca do uso e cobertura da terra, a urbanização é a classe dominante no local, representando 67,40% de sua área total; a vegetação constitui 22,50% da bacia, contemplando resquícios de Mata Atlântica secundária; a prática agrícola configura 4,50% da região, sobretudo pelo cultivo de cana-de-açúcar; os manguezais abrangem uma área que engloba 5,20% do

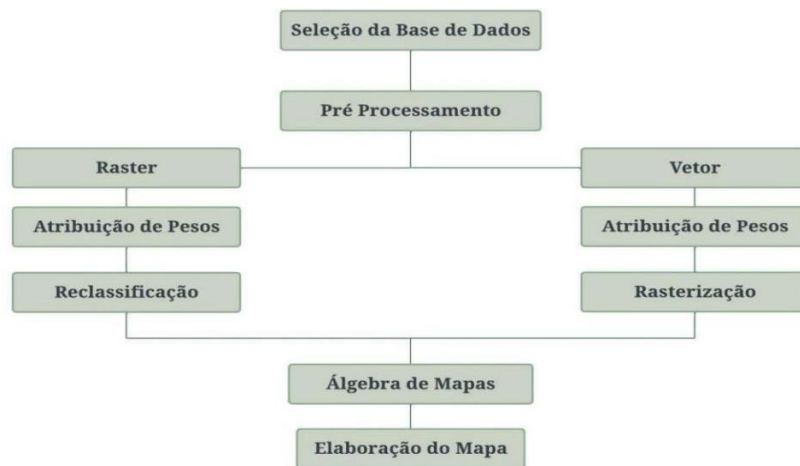
território; por fim, 0,40% da área total é representada pelos corpos hídricos, sobretudo massas d'água, como açudes e lagos (SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2017).

A escolha da bacia hidrográfica do rio Tejipió como região de estudo se deu por possuir características físico-naturais e considerável índice de urbanização, que a condiciona fortemente a apresentar áreas de suscetibilidade a processos erosivos.

Procedimentos metodológicos

A sintetização do procedimento metodológico aplicado neste estudo pode ser conferida na Figura 2, baseada na metodologia proposta por Crepani et al. (2001). O mapa de suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipió foi desenvolvido por meio da seleção de fatores que condicionam a esse fenômeno. Em seguida, pesos foram atribuídos aos fatores por meio do processo de reclassificação, segundo o grau de propensão à erosão. Por fim, foi realizado o processamento, pela álgebra de mapas, dos dados espaciais reclassificados.

Figura 2 - Sintetização dos procedimentos metodológicos aplicados no estudo



Elaboração: Os autores, 2024.

Seleção, coleta e tratamento dos fatores condicionantes a processos erosivos

O mapeamento de suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipió foi produzido a partir do levantamento e processamento dos seguintes fatores: geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia e uso e cobertura da terra (Crepani *et al.*, 2001). Foram utilizados arquivos oriundos de distintos bancos de dados, disponibilizados por sítios on-line de órgãos oficiais. A forma de como esses materiais foram coletados e tratados estão descritos a seguir:

- Geologia: os dados espaciais relativos à geologia da bacia foram adquiridos no formato vetorial (*shapefile*) pela plataforma do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA), na escala 1:250.000.

- Geomorfologia: para compor esse fator, foi considerada a combinação de três parâmetros: a amplitude altimétrica, a amplitude interfluvial e a declividade. A amplitude altimétrica foi gerada por meio do Modelo Digital do Terreno (MDT) da região, com resolução espacial de 30 metros e oriundo de perfilamento a *laser* aerotransportado (LiDAR), proveniente do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), em que os intervalos altimétricos foram representados em metros e agrupados em 15 classes. A amplitude interfluvial foi elaborada a partir do mesmo MDT, pelo qual foi possível obter as informações sobre as direções de fluxo da região. A partir dessa camada, foram gerados *buffers*, obedecendo afastamentos determinados. O parâmetro declividade também foi produzido através do MDT da região. As classes de declividade foram determinadas no formato de porcentagem e agrupadas em cinco tipos. Por fim, ao obter o grau de suscetibilidade parcial dos parâmetros referentes à geomorfologia, foi realizada a média aritmética dos pesos atribuídos, de acordo com o modelo matemático expresso pela Equação 1.

$$R = \frac{G + A + D}{3} \quad (1)$$

Onde:

R = Suscetibilidade para o fator geomorfologia;

G = Amplitude interfluvial;

A = Amplitude altimétrica;

D = Declividade.

- Pedologia: a partir da plataforma da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) foi obtido o arquivo, no formato vetorial (*shapefile*) e na escala 1:100.000, da distribuição espacial dos solos do estado de Pernambuco.

- Climatologia: foram utilizados dados mensais de chuva provenientes de dez estações pluviométricas (Tabela 1) e correspondentes ao período de 1º de janeiro de 2004 a 31 de dezembro de 2021, sendo as informações de cinco dessas estações disponíveis na plataforma da APAC, duas pelo Portal Hidroweb e as demais, na plataforma do Cemaden. Após obtenção dos dados de precipitação, foram considerados para o estudo apenas os cinco meses que apresentam maiores índices pluviométricos na região, sendo eles compreendidos de março a julho. Para a determinação da precipitação média mensal de cada estação foi utilizado o método aritmético. Em seguida, foi usada a ferramenta “Interpolação IDW”, no *software* livre QGIS (versão 3.10.9), para elaborar o mapa da variabilidade espacial da precipitação da bacia hidrográfica do rio Tejiptió para o período considerado.

Tabela 1 - Dados das estações pluviométricas utilizadas neste estudo

Código	Nome	Município	Coordenadas		Agência de monitoramento
			X (mE)	Y (mN)	
201	Camaragibe	Camaragibe	280.429,99	9.112.770,32	APAC
30	Várzea	Recife	284.099,66	9.110.874,31	APAC
834007	Curado	Recife	284.084,05	9.108.630,93	ANA
604	Cidade da Copa	Jab. dos Guararapes	280.955,39	9.106.755,20	APAC
268	Bar. Duas Unas	Jab. dos Guararapes	275.352,86	9.104.946,52	APAC
260790103A	Cavaleiro	Jab. dos Guararapes	282.807,09	9.104.562,90	Cemaden
834017	Afogados	Recife	290.636,47	9.106.360,97	ANA
261160615A	Ibura	Recife	284.584,71	9.101.695,44	Cemaden
260790106A	Piedade	Jab. dos Guararapes	289.120,76	9.098.177,42	Cemaden
202	J. Guararapes	Jab. dos Guararapes	288.155,91	9.097.110,93	APAC

Fonte: Cruz e Moreira, 2022.

- Cobertura e uso da terra: adquirido pela plataforma do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas). Os dados espaciais foram disponibilizados no formato matricial (*raster*), numa resolução de 30 metros.

Todos os dados espaciais utilizados neste trabalho foram processados no *software* livre QGIS (versão 3.10.9), em coordenadas UTM (Fuso 25 S) e no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade a processos erosivos

A reclassificação dos fatores selecionados para este estudo foi realizada segundo um processo de hierarquização das suas variáveis (classes). Essa hierarquização foi realizada associando a potencialidade das variáveis para erosão no solo a valores que variam de um a três. O valor um representa as variáveis menos favoráveis à ocorrência de erosão, enquanto o valor três indica as variáveis mais propensas. A Tabela 2 sintetiza a atribuição de notas desse processo de

hierarquização das variáveis dos fatores para conseqüente reclassificação. Vale salientar que as notas utilizadas nessa etapa foram estabelecidas por estudo realizado por Crepani *et al.* (2001).

Tabela 2 - Reclassificação das variáveis dos fatores quanto à suscetibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do rio Tejipló

Fatores	Variáveis (Classes)	Valores
Geologia (Litologia)	Granodiorito	1,2
	Arenito	2,4
	Conglomerado Polimítico	2,5
	Siltito, Argilito	2,7
	Laterita	3,0
Geomorfologia (Amplitude altimétrica) (m)	< 20,00	1,0
	20,00 - 29,50	1,1
	29,51 - 39,00	1,2
	39,01 - 48,50	1,3
	48,51 - 58,00	1,4
	58,01 - 67,50	1,5
	67,51 - 77,00	1,6
	77,01 - 84,50	1,7
	84,51 - 94,00	1,8
	94,01 - 103,50	1,9
	103,51 - 113,00	2,0
	113,01 - 122,50	2,1
	122,51 - 132,00	2,2
Geomorfologia (Amplitude interfluvial) (m)	132,01- 141,50	2,3
	141,51 - 151,00	2,4
	1.250,01 - 1.500,00	2,5
	1.000,01 - 1.250,00	2,6
	750,01 - 1.000,00	2,7
Geomorfologia (Declividade) (%)	500,01 - 750,00	2,8
	250,00 - 500,00	2,9
	< 250,00	3,0
	< 2,00	1,0
	2,00 - 6,00	1,5
Geomorfologia (Declividade) (%)	6,01 - 20,00	2,0
	20,01 - 50,00	2,5
	> 50,01	3,0
	Pedologia (Tipos de Solo)	Luvissolo Crômico
Solos Indiscriminados de Mangue		3,0
Argissolo Vermelho-Amarelo		2,0
Gleissolo Háptico		3,0
Neossolo Flúvico		3,0
Latossolo Amarelo		1,0
Climatologia (Pluviosidade) (mm)	250,00 - 275,00	1,9
	275,01 - 300,00	2,0
	300,01 - 325,00	2,1
	325,01 - 350,00	2,2
	350,01 - 375,00	2,3
	375,01 - 400,00	2,4
Cobertura e Uso da Terra	Vegetação Florestal	1,0
	Vegetação Campestre	1,5
	Área Agrícola	2,0
	Área Urbana	3,0
	Corpo Hídrico	1,0

Fonte: Crepani et al., 2001.

A reclassificação dos dados espaciais, conforme a associação de notas apresentada na Tabela 1, foi realizada por meio do QGIS (versão 3.10.9). Os arquivos representados em formato vetorial foram convertidos para o matricial, possibilitando a realização desse procedimento.

Álgebra de mapas e verificação da eficiência do mapeamento quanto à suscetibilidade a processos erosivos

A aplicação da álgebra de mapas se deu pela utilização das camadas reclassificadas na etapa anterior. Para isso, foi aplicado o modelo matemático apresentado na Equação 2, desenvolvido por Crepani *et al.* (2001), que representa a média aritmética dos fatores analisados.

$$V = \frac{G + R + S + C + Vg}{5} \quad (2)$$

Onde:

V = Suscetibilidade a processos erosivos;

G = Geologia;

R = Geomorfologia;

S = Pedologia;

C = Climatologia;

Vg = Cobertura e uso da terra.

Por fim, o mapa de suscetibilidade a processos erosivos, produzido pela álgebra de mapas, foi reclassificado segundo os critérios apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para reclassificação do mapa de suscetibilidade a processos erosivos

Valor do Pixel	Categoria	Nível de Suscetibilidade
1,00 - 1,40	Estável	Muito Baixa
1,41 - 1,80	Moderadamente Estável	Baixa
1,81 - 2,20	Medianamente Estável / Suscetível	Média
2,21 - 2,60	Moderadamente Suscetível	Alta
2,61 - 3,00	Suscetível	Muito Alta

Fonte: Cruz e Moreira, 2022.

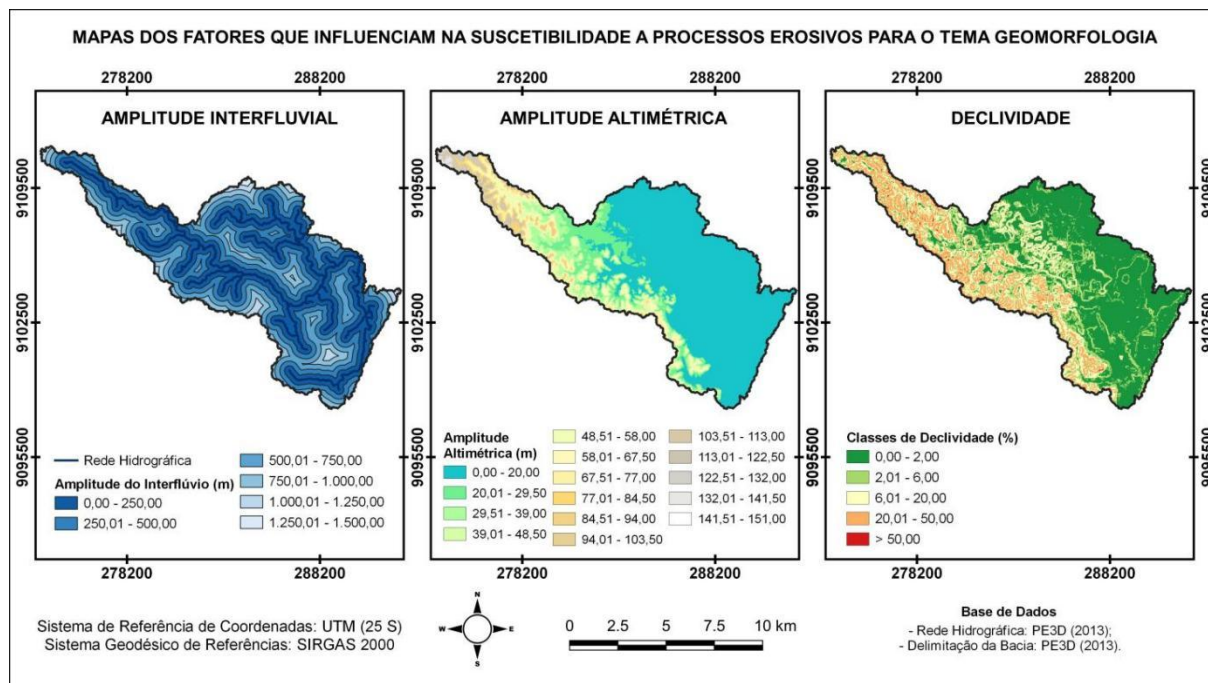
Para verificar a eficiência do método empregado nesse estudo, o mapa de suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipió foi validado a partir da comparação com três registros fotográficos e um mosaico de ortoimagens, adquirido pela prefeitura municipal de Jaboatão dos Guararapes (PMJG), das regiões da bacia onde processos erosivos se desenvolveram de forma mais expressiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela utilização do SIG foi realizada a composição dos mapas que representam o comportamento da bacia do rio Tejipió quanto aos fatores, selecionados para este estudo, que favorecem a suscetibilidade a processos erosivos. Os três fatores que quando combinados retratam o tema

geomorfologia (amplitude interfluvial, amplitude altimétrica e declividade) podem ser conferidos na Figura 3.

Figura 3 - Fatores que influenciam na suscetibilidade a processos erosivos para o tema geomorfologia



Elaboração: Os autores, 2024.

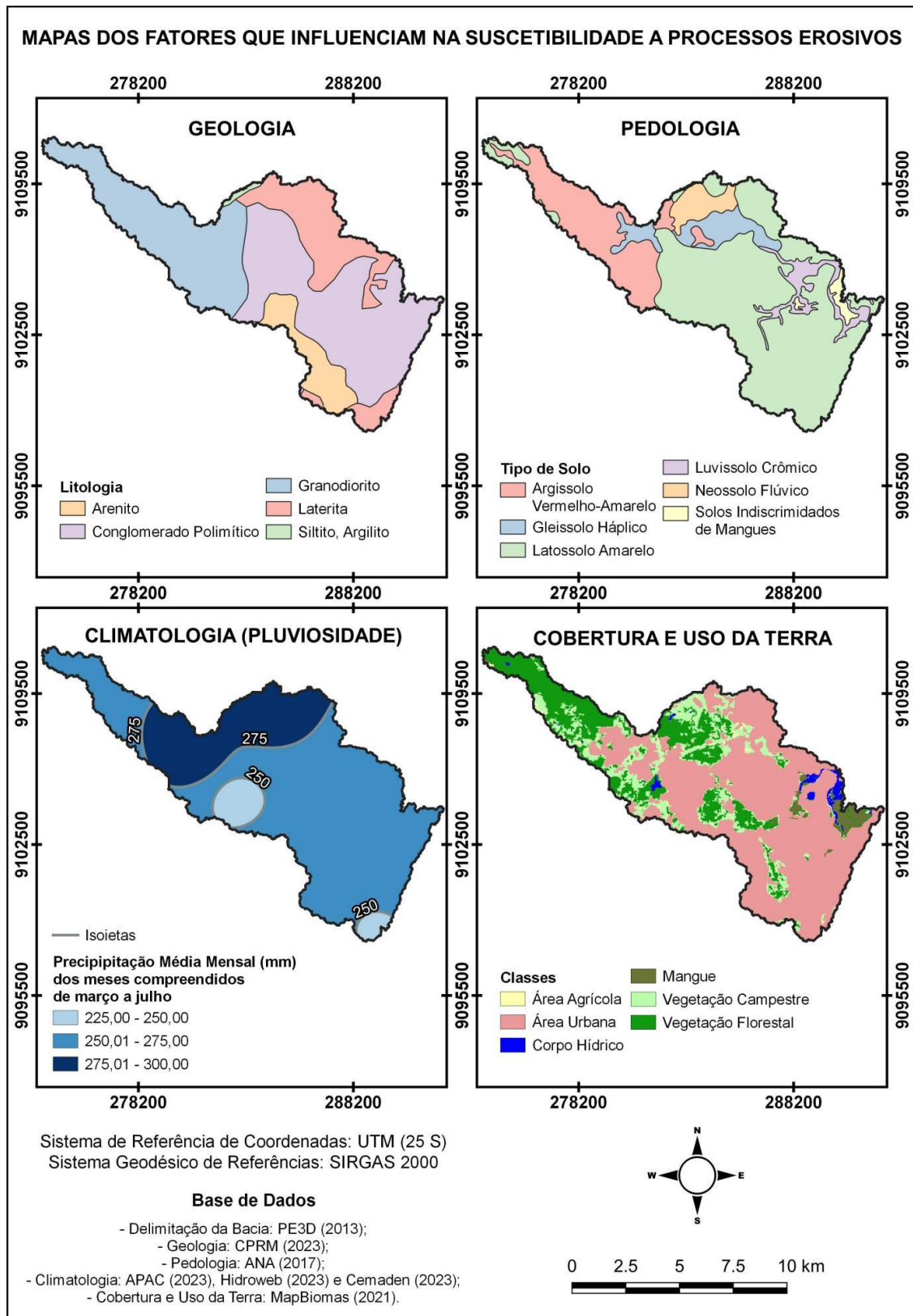
Ao analisar a Figura 3, é possível verificar que, acerca da topografia da região, as cotas altimétricas e declividades de menores valores prevalecem na porção leste da bacia. Quanto à amplitude do interflúvio, se destacam as áreas em torno do rio principal e de alguns tributários, como os rios Jordão e Jiquiá, que contemplam, respectivamente, as partes leste e centro-norte da bacia.

Os demais fatores, que favorecem os processos erosivos, são verificados na Figura 4, são eles: geologia, pedologia, climatologia e cobertura e uso da terra.

Analisando a Figura 4, constata-se que quanto à geologia, o conglomerado polimítico predomina no território estudado; a laterita, que aumenta a suscetibilidade a processos erosivos devido a sua camada superficial densa que faz a água escoar em vez de ser absorvida, encontra-se nas porções sul e centro-norte da região; e o granodiorito, tipo de rocha que condiciona menores propensões a erosões, aparece na parte noroeste da área objeto do estudo. O fator geologia pode ser considerado bastante representativo na análise de processos erosivos devido ao nível de coesão das rochas que compõem a região objeto do estudo, sendo as rochas menos coesas propensas a processos erosivos, enquanto nas mais coesas há o predomínio da pedogênese (Oliveira *et al.*, 2023; Cruz; Moreira, 2022).

Quanto à pedologia, há uma prevalência do Latossolo Amarelo na bacia, principalmente na região costeira e na parte central. Esse solo, assim como o Neossolo Flúvico, é caracterizado por sua textura mais arenosa. O Argissolo Vermelho-Amarelo e o Gleissolo Háptico, que representam solos mais argilosos, estão localizados, respectivamente, nas partes oeste e centro-norte da região. Os solos desempenham um papel importante no tocante à resistência aos processos erosivos, pois estão ligados a diversas características como: textura, porosidade e profundidade (Silva *et al.*, 2022). Para Santos e Soares (2020), a maturidade do solo também indica se prevalecem os processos erosivos, os quais geram solos jovens, ou se o estado de estabilidade permite a predominância da pedogênese, propiciando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos.

Figura 4 - Fatores que influenciam na suscetibilidade a processos erosivos



Elaboração: Os autores, 2024.

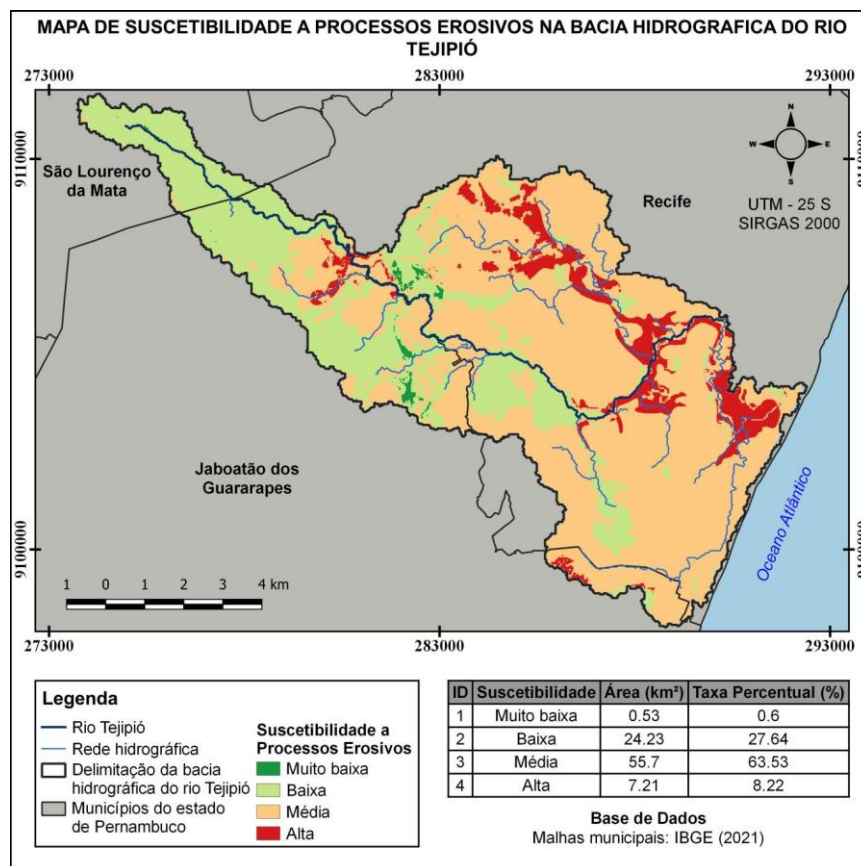
Em relação aos dados da precipitação média mensal, constatou-se uma variação de 225 mm até 300 mm. Na região, o período chuvoso ocorre a partir do mês de março até julho. Verifica-se que maior

parte abrange níveis de precipitação médios mensais compreendidos de 250 mm a 275 mm e que a porção centro-norte da região apresenta os maiores índices, variando de 275 mm a 300 mm. Conforme Santos, Nascimento e Barros (2020), o fator erosivo mais relevante nas regiões tropicais ou subtropicais úmidas se traduz pela ação das chuvas. O escoamento superficial no terreno, ocasionado pela precipitação, causam a remoção do solo por meio da erosão hídrica (Cruz; Moreira, 2022).

Acerca da cobertura e uso da terra da bacia do rio Tejipló, a área urbana prevalece nas regiões litorânea e central do território. No entanto, é importante destacar que considerável parte dessas ocupações urbanas se expandiu de forma desordenada, sem o devido acompanhamento por parte do poder público, abrangendo áreas inapropriadas, como encostas e planícies de inundação. Já a formação florestal, é encontrada, sobretudo, na parte noroeste, no alto curso da bacia. De acordo com Silva *et al.* (2022), a análise desse fator é primordial para determinar a suscetibilidade a processos erosivos, uma vez que o uso desordenado da terra pode causar uma série de danos ao meio ambiente e contribuir para o desenvolvimento de processos erosivos.

A Figura 5 apresenta o mapa de suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipló, que foi resultante da reclassificação dos fatores condicionantes, obtido pela álgebra de mapas.

Figura 5 - Mapa de suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipló

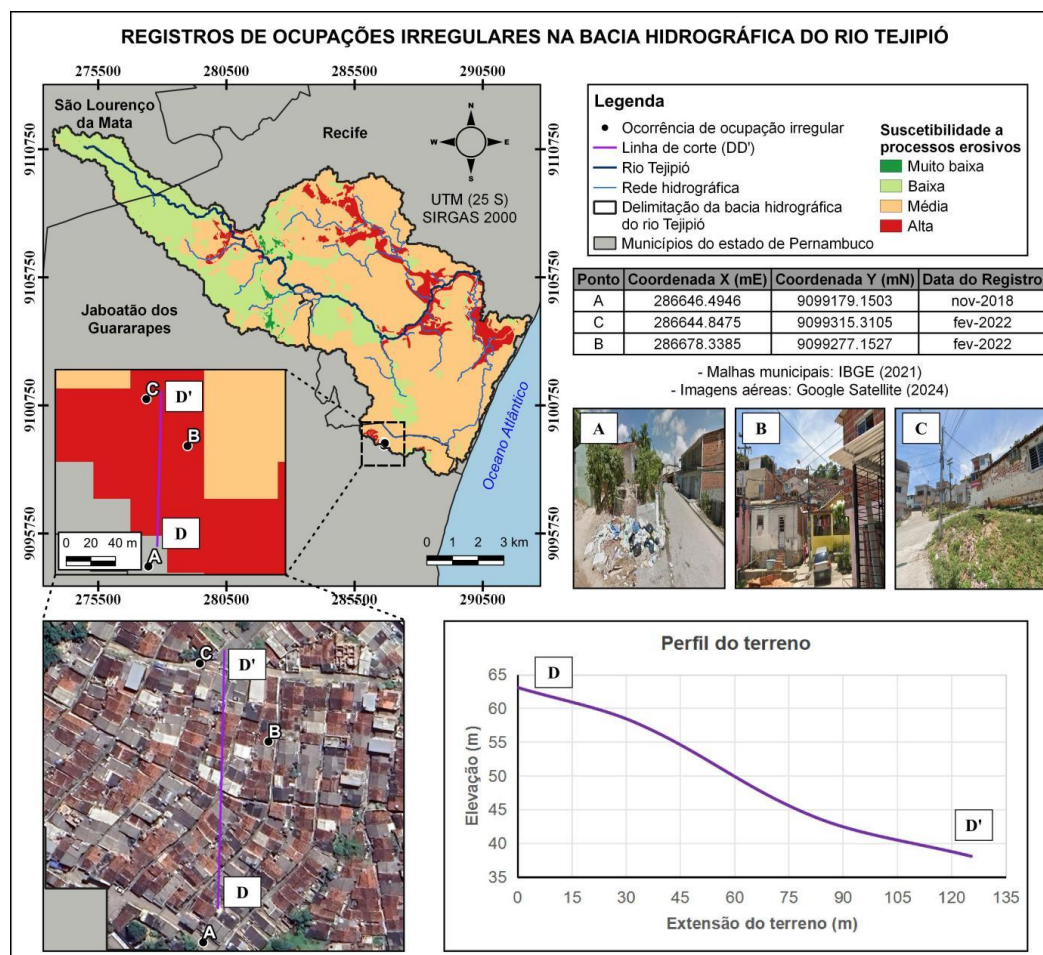


Elaboração: Os autores, 2024.

Por meio do mapeamento da região em estudo quanto à suscetibilidade a processos erosivos, é possível verificar que as classes de menores propensão totalizam 24,76 km², o que equivale a 28,24% do território. As áreas dessa classe estão principalmente no alto curso da bacia e são caracterizadas por abrangerem cobertura vegetal, solos argilosos e rochas mais coesas. As áreas mais suscetíveis, representadas pelas classes de média e alta suscetibilidade, abrangem 71,75% da bacia e estão distribuídas são ocupadas pelas porções com elevada densidade de drenagem, mais urbanizadas, que apresentam solos mais arenosos e rochas menos coesas.

Uma significativa parte das ocupações urbanas na região estudada se concentra em áreas com infraestrutura precária, sobretudo em encostas íngremes. Além disso, há uma considerável escassez dos serviços essenciais de saneamento básico, como a canalização de esgoto, o manejo de águas pluviais e a coleta de resíduos sólidos. Esse panorama pode ser verificado na Figura 6, que apresenta ocupações irregulares em áreas de alta suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipió.

Figura 6 - Registros de ocupações irregulares na bacia hidrográfica do rio Tejipió



Elaboração: Os autores, 2024.

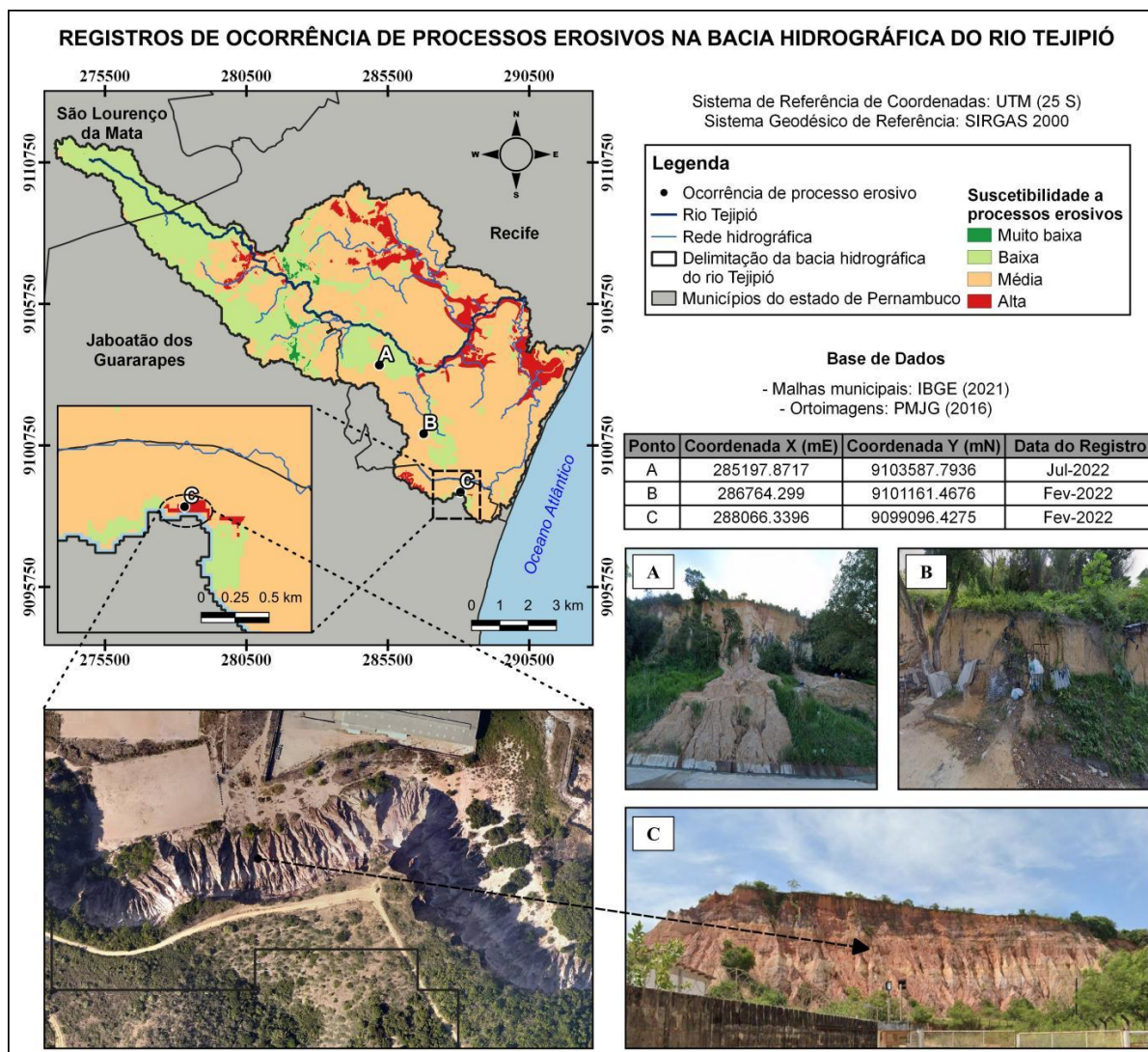
Ao analisar a suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, Oliveira *et al.* (2023) encontraram resultados semelhantes aos desse trabalho, verificando que as áreas mais favoráveis são aquelas que apresentam maiores índices de intervenção antrópica, como a remoção da vegetação e corte irregular de encostas para construção de moradias, além de deposição de resíduos sólidos em locais inadequados. Costa, Souza e Silva (2021) verificaram que as áreas da bacia hidrográfica do rio Doce, no Rio Grande do Norte, em que a suscetibilidade a processos erosivos é categorizada como alta são as que apresentam maiores concentração de área urbana.

Utilizando o Método de Análise Hierárquica (AHP), Santos, Nascimento e Barros (2020) verificaram que as porções de alta suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Japarutuba, em Sergipe estão concentradas em seu alto curso e representam áreas de maiores declividades e dissecação do relevo e que são agravadas pela supressão da vegetação natural, transformadas em pastagem. Além disso, com o uso do AHP, o estudo de Borges *et al.* (2023), que mapeou as áreas de propensão a erosão na bacia hidrográfica do rio Goiana, em Pernambuco, revelou que a classe de elevada suscetibilidade é mais expressiva nas regiões de grande concentração de lavoura temporária

(produção de cana de açúcar), nas que possuem solos argilosos e que apresentam maiores concentrações de precipitação média anual.

Para asseverar as constatações verificadas nesse estudo, foi realizado um levantamento de dados sobre processos erosivos na bacia do rio Tejipió junto a plataformas de análise geoespacial, a órgãos governamentais e por visitas in loco. No total foram obtidos quatro registros, representados por um mosaico de imagens aéreas (ortoimagens) e três registros fotográficos (identificados pelas letras A, B e C), como apresenta a Figura 7.

Figura 7 - Registros de ocorrência de processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipió



As constatações apresentadas na Figura 7 corroboram a eficácia da metodologia aplicada nesse estudo, permitindo que o mapeamento quanto a processos erosivos seja utilizado por órgãos competentes, subsidiando o planejamento de políticas públicas que atenuem esse tipo de fenômeno. Ademais, é importante destacar que a considerável ocupação urbana desordenada, além de outros tipos de intervenções antrópicas, gera uma sobrecarga no terreno, modificando significativamente sua fisionomia e dinâmica. Essa pressão adicional, por consequência, aumenta a suscetibilidade da região a processos erosivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento quanto à suscetibilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tejipió, em Pernambuco, mostrou que 53,66% do território apresenta elevada propensão a esse tipo de fenômeno. Essas áreas são caracterizadas por áreas que apresentam elevada densidade de drenagem, que são mais urbanizadas e que apresentam solos mais arenosos e rochas menos coesas. Enquanto as áreas menos suscetíveis equivalem a 19,31% da região e são representadas, sobretudo, pelas regiões com cobertura vegetal, com solos argilosos e rochas mais coesas.

O emprego do método utilizado nesse estudo no tocante ao mapeamento de áreas suscetíveis a processos erosivos se define como uma técnica eficaz quanto à aplicabilidade, permitindo que tomadas de decisões assertivas sejam efetivadas por gestores ou profissionais da área. Entre os benefícios da utilização dessa metodologia se sobressaem o baixo custo de aquisição e a praticidade no processamento dos dados, permitindo sua aplicação em diversas regiões, tanto locais quanto regionais, especialmente em áreas de difícil acesso.

Por fim, destaca-se a relevância da elaboração desse tipo de estudo, a fim de fomentar a implementação de um planejamento urbano e territorial adequado, de forma a abrandar a ocorrência de processos erosivos ou fenômenos de qualquer outra ordem.

REFERÊNCIAS

- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Bacias Hidrográficas. 2022. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 17 nov. 2023.
- BORGES, A. P. de L.; LIMA JUNIOR, A. de S.; MENEZES, L. A. A.; SILVA, S. R.; LAFAYETTE, K. P. V. Uso da geoinformação para análise da vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Goiana. **Caderno de Geografia**, v. 33, n. 73, p. 366-391, 2023. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n73p366>
- CHEN, W.; WANG, C.; ZENG, J. Impact of urbanization on ecosystem health in Chinese urban agglomerations. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 98, p. 106964, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106964>
- COLARES, I. S.; FERREIRA JUNIOR, J. C.; RODRIGUES, L. de S.; MAIA, S. A.; WACHHOLZ, F. Suscetibilidade do solo à erosão na bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu (Amazonas – Brasil). **Caminhos de Geografia**, v. 23, n. 89, p. 367-389, 2022. <https://doi.org/10.14393/RCG238960655>
- COSTA, F. R.; SOUZA, R. F. de; SILVA, S. M. P. da. Análise das vulnerabilidades natural e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN). **Geociências**, v. 40, n. 2, p. 459 - 475, 2021. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i02.15438>
- COSTA JUNIOR, H.; CABRAL, S. C. Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni. **Research, Society And Development**, v. 8, n. 12, e018121353, 2019. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i12.1353>
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124p. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- CRUZ, E. F.; MOREIRA, A. A. M. A vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba/MG: uma abordagem geográfica multicriterial. **Geo Uerj**, n. 41, e52633, 2022. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2022.52633>
- CUNHA, A. A.; ALIXANDRINI JUNIOR, M. J.; FERNANDES, V. de O. Avaliação de Erosão por Imagens de Aeronave Remotamente Pilotada a Baixa Altura de Voo. **Geografia (Londrina)**, v. 29, n. 1, p. 191-210, 2020. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2020v29n1p191>
- CUNHA, H. N.; ALBA, J. M. F.; MIURA, A. K.; SALDANHA, D. L. Análise da suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Alto Camaquã (RS). **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 65, p. 16-28, 2018. <https://doi.org/10.14393/RCG196502>
- FABRÍCIO, L. V.; ALMEIDA, R. T. S. Avaliação de perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão Formoso, Paraúna-GO. **Sociedade e Território**, v. 34, n. 3, p. 7-32, 2022. <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2022v34n3ID29458>

FUSHIMI, M.; OLIVEIRA, R. C.; NUNES, J. O. R. Atribuição de pesos aplicada à vulnerabilidade ambiental à erosão linear: estudo de caso nas bacias hidrográficas do rio dos Cachorros (São Luís-MA) e do córrego Timburi (Presidente Prudente-SP). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 27, e71887, 2023.

<https://doi.org/10.5902/2236499471887>

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, n. esp, p. 71-83, 2018.

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2018v4n0ID13273>

GOMES, M. R. M.; FALCÃO SOBRINHO, J.; VITAL, S. R. O. Mapeamento taxonômico e a relação entre o relevo e os processos erosivos na sub-bacia hidrográfica do rio Jaibaras, Ceará/Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 17, n. 1, p. 90-111, 2023. Disponível em:

<https://revista.ufr.br/rga/article/view/7676>. Acesso em: 14 dez. 2023.

IGAWA, T.; MACIEL, M. Vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia hidrográfica do rio Marapanim, nordeste paraense. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 167-180, 2018.

https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A84

MENDONÇA, A. F.; TEIXEIRA, T. M. A.; OLIVEIRA, O. A.; TEIXEIRA, A. C. O. Mapeamento da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Bandeirinha em Formosa-GO. **Geoambiente On-Line**, n. 36, p. 19-42, 2020. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.vi36.59567>

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v. 17, n. esp, p. 84-105, 2017. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27nesp1p84>

MOURA, L. F. S.; SOPCHAKI, C. H. Modelagem espacial da erosão por perda de sedimentos para a região da sub-bacia do rio Araçoiaba - Ceará e sua influência no assoreamento dos cursos fluviais.

Boletim Paulista de Geografia, n. 109, p. 188-209, 2023. <https://doi.org/10.54446/bpg.v109i1.2978>

MOURA, M. M. S.; ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO, H. A. Q.; BATISTA, F. J. A.; SOUSA, M. M. M. Vulnerabilidade à erosão quanto aos aspectos solo e vegetação em uma bacia hidrográfica no semiárido. **Entorno Geográfico**, n. 13, 14, 2017. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i13.6033>

OLIVEIRA, I. V. A.; SOUZA, D. D. R.; BARBOSA NETO, M. V.; MIRANDA, M. R. B. Potencial erosivo da bacia hidrográfica do rio Jaboatão - PE. **Caminhos de Geografia**, v. 24, n. 91, p. 287-304, 2023.

<https://doi.org/10.14393/RCG249162489>

PAIXÃO, B. M. Proposta metodológica para elaboração de um indicador de vulnerabilidade socioambiental para bacias hidrográficas. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 4, n. 44, p. 51-71, 2022. Disponível em:

<https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/9025>. Acesso em: 16 dez. 2023.

PEREIRA, G. M.; SOUZA JUNIOR, A. M.; VIEIRA, A. H. Marco Legal da Urbanização no Brasil: reflexos na função social da propriedade. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 11, n. 01, p. 77-94, 2022. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v11n1.14541>

PETSCH, C.; SCCOTI, A. A. V.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Proposta metodológica de mapeamento da vulnerabilidade à erosão: aplicação na bacia hidrográfica do rio Santa Maria, RS. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 43, e197776, 2023. <https://doi.org/10.11606/elSSN.2236-2878.rdg.2023.197776>

<https://doi.org/10.11606/elSSN.2236-2878.rdg.2023.197776>

QUEVEDO, R. P.; GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; RUIZ, L. F. C. Modelagem de áreas suscetíveis a movimentos de massa: avaliação comparativa de técnicas de amostragem, aprendizado de máquina e modelos digitais de elevação. **Geosciences = Geociências**, v. 38, n. 3, p. 781-795, 2019.

<https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i3.14019>

ROCHA, W. S.; PASQUALETTO, A.; SANTOS, G. M.; MENDES, T. A.; SANTOS, H. I. Erosão Urbana: microbacia do córrego olho D'Água, município de Goiânia, Goiás. **Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 4, n. 1, p. 64-76, 2018. <https://doi.org/10.18224/baru.v4i1.6202>

RODRIGUES, J. M.; MONTEIRO, G. N.; SOUZA, J. O. P. D. Análise de fragilidade ambiental na bacia da Barragem Camará, Areia (PB). **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4, p. 231-241, 2018.

<https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.238221>

SALIS, H. H. C. de; COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M. Estimativa da perda anual de solos na bacia hidrográfica do córrego Marinheiro, Sete Lagoas – MG, por meio da RUSLE. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 1, p. 101-115, 2019. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i1.37213>

- SAMPAIO, F. M. A. S.; ROBAINA, L. E. S. Suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Taquari/Antas. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 33, p. 85-105, 2019. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/4321>. Acesso em: 15 dez. 2023.
- SANTOS, A. M. S. P.; SILVA, A. P. V.; MATTOS, C. S.; LIMA, M. F. V.; NACUR, E.; DESCHAMPS, L.; AMARAL, L.; BRÁS, V. O município e os desafios da política urbana em aglomerados urbanos: a experiência da metrópole fluminense. **Geo Uerj**, n. 36, e47268, 2020. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.47268>
- SANTOS, C. L.; LISTO, F. L. R.; SILVA, O. G.; REIS, R. B. Análise metodológica de estudos referentes a eventos de movimentos de massa e erosão ocorridos na região Nordeste do Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 55, p. 959-979, 2018. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2018v28n55p959-979>
- SANTOS, I. S.; SILVA, M. C. C.; AZEVEDO, G. D. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, S. R. Avaliação espaço-temporal do processo de uso e ocupação de uma encosta no bairro da Macaxeira - Recife / PE - Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 40, n. 1, p. 334-358, 2023. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.257514>
- SANTOS, L. A. N.; NASCIMENTO, P. S. R.; BARROS, G. V. P. Processamento analítico hierárquico no mapeamento da fragilidade ambiental à erosão do solo. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 8, n. 4, p. 275-298, 2020. <https://doi.org/10.3895/rbgeo.v8n4.12635>
- SANTOS, L. C. A.; SOARES, I. G. Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Preto, Maranhão – Brasil. **Geografia (Londrina)**, v. 29, n. 1, p. 85-105, 2020. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2020v29n1p85>
- SANTOS, S. A.; SANTOS, A. M. Panorama da susceptibilidade à erosão dos solos em municípios do Semiárido de Pernambuco. **Revista Equador**, v. 10, n. 3, p. 01-25, 2021. <https://doi.org/10.26694/equador.v10i3.11013>
- SÃO MIGUEL, A. E.; MEDEIROS, R. B.; GOMES, W. M. Emprego do Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na avaliação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão São Pedro, Santa Rita do Pardo/MS. **Revista Cerrados**, v. 16, n. 02, p. 31-50, 2020. <https://doi.org/10.22238/rc24482692201816023150>
- SHI, K.; WANG, H.; YANG, Q.; WANG, L.; SUN, X.; LI, Y. Exploring the relationships between urban forms and fine particulate (PM2.5) concentration in China: a multi-perspective study. **Journal Of Cleaner Production**, v. 231, p. 990-1004, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.317>
- SILVA, C. S.; BISPO, C. O.; SANTANA, G. A. C.; GIRÃO, O. Deslizamentos e enchentes na bacia do rio Tejipló: percepção e resiliência frente a riscos geomorfológicos. **OKARA: Geografia em debate**, v. 11, n. 2, p. 316-337, 2017. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2017v11n2.31978>
- SILVA, C. S.; BISPO, C. O.; SILVA, S. B.; GIRÃO, O. Análise do sistema fluvial frente ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Tejipló – Região Metropolitana do Recife. In: LISTO, F. de L. R.; MÜTZENBERG, D. S.; TAVARES, B. A. C. (Orgs.). **E-book do I Workshop de Geomorfologia e Geoarqueologia do Nordeste**. Recife: GEQUA, 2016. p. 89-100. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fabrizio-Listo/publication/316322068_E-BOOK_DO_I_WORKSHOP_DE_GEOMORFOLOGIA_E_GEOARQUEOLOGIA_DO_NORDESTE_VOL_I/links/58fa4095aca2723d79d60edc/E-BOOK-DO-I-WORKSHOP-DE-GEOMORFOLOGIA-E-GEOARQUEOLOGIA-DO-NORDESTE-VOL-I.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.
- SILVA, E. R. S.; OLIVEIRA, V. F. R.; VICK, E. P.; LIMA, C. G. R.; BACANI, V. M.; CHÁVEZ, E. S. Geotecnologías aplicadas al análisis de la fragilidad ambiental a los procesos erosivos. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 31, n. 1, p. 222-240, 2022. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n1.85654>
- SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; OLIVEIRA, R. A. de; SABONARO, D. Z.; ROSA, A. H. Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 169-180, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.48838>
- TEIXEIRA, M. B.; CAMARGO, P. L. T. DE; MARTINS JÚNIOR, P. P. Avaliação da perda universal de solos para o município de São Francisco - Minas Gerais. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 11, n. 2, p. 67-78, 2017. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/4380>. Acesso em: 15 dez. 2023.

WANG, Q.; WANG, X.; LI, R. Does official development assistance alleviate the environmental pressures during the urbanization of recipient countries? Evidence from the sub-Saharan Africa countries.

Environmental Impact Assessment Review, v. 95, p. 106787, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106787>

WU, K.; YOU, K.; REN, H.; GAN, L. The impact of industrial agglomeration on ecological efficiency: an empirical analysis based on 244 chinese cities. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 96, p. 106841, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106841>

Recebido em: 16/03/2024

Aceito para publicação em: 29/10/2024