

DOI: 10.25100/eg.v0i26.13055
Espacios y Territorios

Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejiptó, em Pernambuco, Brasil¹

Mapping of areas vulnerable to flooding in Tejiptó basin river, in Pernambuco, Brazil

Mapeo de las áreas susceptibles a inundaciones en la cuenca hidrográfica del río Tejiptó, en Pernambuco, Brasil

Amaury Gouveia Pessoa Neto

Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife/PE, Brasil. agpn@poli.br | 0000-0002-6320-8066

Simone Rosa da Silva

Doutora em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife/PE, Brasil. simonerosa@poli.br | 0000-0001-7138-7546

Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa

Doutora em Engenharia Civil, Instituto Federal de Pernambuco, Recife/PE, Brasil. ionarameh@recife.ifpe.edu.br | 0000-0002-5795-1398

Para citar este artículo: Pessoa, A., Silva, S y Barbosa, I. (2023). Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejiptó, em Pernambuco, Brasil. *Entorno Geográfico*, (26), e22413055. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i26.13055>

Resumo

O processo de urbanização em países latino-americanos, como o Brasil, evoluiu com maior intensidade em meados do século XX, porém de forma acelerada e desordenada, modificando consideravelmente as condições de uso da terra e padrões de paisagem, resultando em significativas alterações no ciclo hidrológico. Uma das consequências dessas transformações foi o aumento da ocorrência de inundações, que se tornou um dos principais problemas enfrentados pela sociedade. Dessa maneira, o presente trabalho buscou mapear as áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejiptó, em Pernambuco, Brasil, utilizando o Processo Analítico Hierárquico (AHP), em conjunto com o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para isso, foram elencados seis fatores condicionantes à

¹ Trabalho apresentado no VII Workshop da Rede Ibero-americana de Observação Territorial (RIDOT), realizado nos dias 27 a 29 de março de 2023, em Curitiba, Brasil, no eixo temático 3 - Ferramentas e sistemas de apoio para à tomada de decisão, gestão e ordenamento territorial.



ocorrência de inundações que foram processados no *software* livre QGIS (3.10.9), reclassificados e submetidos à álgebra de mapas. Assim, foi possível elaborar o mapa das áreas suscetíveis a inundações para a região estudada, sendo observado que as áreas mais propensas a esse tipo de desastre hidrológico são as densamente urbanizadas e que possuem baixas altitudes e declividades. A utilização desse método, quanto ao objetivo proposto no estudo, se mostrou uma solução vantajosa no tocante à aplicabilidade e viabilidade, possibilitando tomadas de decisões mais assertivas por gestores e profissionais da área.

Palavras-chave: desastres hidrológicos, processo analítico hierárquico e sistema de informações geográficas

Abstract

The urbanization process in Latin American countries, such as Brazil, evolved with greater intensity in the mid-twentieth century, but in an accelerated and disorderly way, considerably modifying the conditions of land use and landscape patterns, resulting in significant changes in the water cycle. One of the consequences of these transformations was the increase in the occurrence of floods, which has become one of the main problems faced by society. Thus, the present work sought to map the areas susceptible to flooding in the Tejiptó river basin, in Pernambuco, Brazil, using the Hierarchical Analytical Process (AHP), together with the Geographic Information System (GIS). For this, six conditioning factors for the occurrence of floods were listed and processed in the free software QGIS (3.10.9), reclassified and submitted to map algebra. Thus, it was possible to draw up a map of the areas susceptible to flooding for the studied region, observing that the areas most prone to this type of hydrological disaster are those that are densely urbanized and have low altitudes and slopes. The use of this method, regarding the objective proposed in the study, proved to be an advantageous solution in terms of applicability and feasibility, enabling more assertive decision-making by managers and professionals in the area.

Keywords: water disasters, analytic hierarchy process and geographic information systems

Resumen

El proceso de urbanización en países latinoamericanos, como Brasil, se intensificó a mediados del siglo XX, pero de forma acelerada y desordenada, modificando

considerablemente las condiciones de uso del suelo y los patrones del paisaje, lo que resultó en alteraciones significativas en el ciclo hidrológico. Una de las consecuencias de estas transformaciones fue el aumento en la ocurrencia de inundaciones, que se ha convertido en uno de los principales problemas enfrentados por la sociedad. De esta manera, el presente trabajo tuvo como objetivo mapear las áreas susceptibles a inundaciones en la cuenca hidrográfica del río Tejipió, en Pernambuco, Brasil, utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en conjunto con el Sistema de Información Geográfica (SIG). Para ello, se identificaron seis factores condicionantes de la ocurrencia de inundaciones, los cuales fueron procesados en el software libre QGIS (3.10.9), reclasificados y sometidos a álgebra de mapas. Así, fue posible elaborar el mapa de las áreas susceptibles a inundaciones en la región estudiada, observándose que las zonas más propensas a este tipo de desastre hidrológico son las densamente urbanizadas y que presentan bajas altitudes y pendientes. La utilización de este método, en relación con el objetivo propuesto en el estudio, demostró ser una solución ventajosa en términos de aplicabilidad y viabilidad, permitiendo una toma de decisiones más precisa por parte de gestores y profesionales del área.

Palabras clave: desastres hidrológicos, proceso analítico jerárquico y sistema de información geográfica

Recibido: 08 de julio de 2023

Aceptado: 29 de junio de 2023

Publicado: 19 de julio de 2023

1. Introdução

O processo de urbanização latino-americano se desenvolveu com maior intensidade após meados do século XX, quando houve um considerável movimento da população em direção à cidade impulsionado pelas alternativas promovidas pela industrialização (Lima et al., 2019; Wu et al., 2021). No entanto, em grande parte das cidades brasileiras, esse fenômeno foi evoluindo de forma acelerada e desordenada, ocasionando problemas de níveis sociais, econômicos, culturais e ambientais, interferindo diretamente no cotidiano da população (Pereira et al., 2022; Santos et al., 2017; Santos et al., 2020;).

O desenvolvimento urbano não planejado acarreta significativas modificações nas condições de uso da terra e nos padrões de paisagem, como a impermeabilização de áreas naturais,

resultando em danos severos ao sistema ambiental (Liang et al., 2022; Santos et al., 2021). Intervenções antrópicas como a remoção da vegetação, a mudança da topografia natural do terreno e o crescimento das áreas impermeabilizadas potencializam o fluxo do escoamento superficial e reduzem a infiltração da água precipitada, trazendo como uma das consequências o aumento dos episódios de inundação (Abdelkarim et al., 2020; Bega et al., 2019; Frutuoso et al., 2020; Mendes et al., 2022; Santos et al., 2021).

Ozturk et al. (2021) definem inundação como um fenômeno natural que ocorre quando um fluxo d'água excede a capacidade de sua seção transversal, atingindo a planície de inundação ou área de várzea, em consequência do excesso de chuvas ou degelo. Esse tipo de desastre natural é o mais frequente no mundo e representa consideráveis riscos à vida da população, causando, na maioria das vezes, perdas humanas e patrimoniais (Amaral & Ross, 2020; Alves et al., 2022; Silva et al., 2020; Tiwari et al., 2020). Assim, para Alves et al. (2022), o conhecimento da dinâmica e extensão das áreas inundáveis se torna essencial para gestores e tomadores de decisão no tocante à gestão eficiente desse desastre.

Dentre os recursos tecnológicos capazes de auxiliar na identificação de áreas propensas a inundações se destaca o Sistema de Informações Geográficas (SIG), o qual permite a coleta, o armazenamento, o tratamento e a combinação de dados hidrológicos e espaciais, gerando resultados precisos (Li et al., 2018; Pasaribu et al., 2021). Aliado a outras técnicas de geoprocessamento, o SIG ainda possibilita a elaboração do planejamento dos procedimentos de evacuação, o monitoramento de desastres, a implementação de sistemas de alerta e inventário e a avaliação de danos de eventos extremos (Amaya et al., 2021; Campioli & Vieira, 2019).

Associada ao SIG, a Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDM) tem se tornado uma importante ferramenta na análise de problemas de decisão complexos que contemplam diversos dados ou critérios, proporcionando o alcance de uma decisão ótima (Abdelkarim et al., 2020; Dash e Sar, 2020; Rahmati et al., 2016). A utilização desse mecanismo tornou-se bastante comum nos campos da Geociências, principalmente em modelagens espaciais e análises de riscos naturais, como a suscetibilidade aos deslizamentos, a avaliação de deformação e a erosão do solo e a suscetibilidade a inundações e alagamentos (Cartaya et al., 2018; Karymbalis et al., 2021).

Utilizando a tecnologia do SIG, em conjunto com a MCDM, Abidine e Abdelmansour (2018) realizaram o zoneamento das áreas propícias a inundações para Oran, noroeste da Argélia, que é considerada uma região de elevado risco hídrico; Surwase et al. (2019) desenvolveram um mapa de risco de inundação para um trecho do rio Mahanadi, situado em Odisha, na Índia, local atingido por grandes desastres naturais, como inundações e ciclones; Vojtek e Vojteková (2019) definiram as zonas de risco de inundação para o território da Eslováquia, que é caracterizado pela elevada suscetibilidade a esse tipo de evento extremo; Abdrabo et al. (2020) produziram mapas de risco de inundação para Hurghada, no Egito, região que entre os anos de 1996 e 2019 esteve sujeita a vários eventos de inundação urbana e Dash e Sar (2020) identificaram potenciais áreas de risco de inundação do distrito de Allahabad, na Índia, que é considerado uma das áreas mais densamente povoadas do mundo que é afetado por inundações repentinas.

No Brasil, também é comum a elaboração de estudos acerca do mapeamento quanto à suscetibilidade de inundações abordando essas técnicas, sobretudo aplicados a bacias hidrográficas, como a do córrego Indaiá, no Mato Grosso do Sul (Mantovani & Bacani, 2018); a do rio Cubatão do Norte, em Santa Catarina (Campioli & Vieira, 2019); a do ribeirão do Lipa, no Mato Grosso (Miranda et al., 2019); a do rio Una, em Pernambuco (Leal et al., 2020); a do rio Bengalas, no Rio de Janeiro (Freiman & Carvalho, 2020) e a do córrego do Lenheiro, em Minas Gerais (Santos et al., 2022).

A bacia hidrográfica do rio Tejipi, em Pernambuco, Brasil, está situada, em sua maior parte, numa região que abrange baixas declividades e altitudes, apresentando cotas altimétricas compreendidas entre zero e 25 metros em relação ao nível do mar (Silva et al., 2016). Além disso, a região enfrenta profundas transformações no espaço em decorrência da expansão desordenada da malha urbana (Silva et al., 2017). Problemas como o lançamento de resíduos sólidos e efluentes domésticos não tratados diretamente nos corpos hídricos e a ocupação irregular de moradias nas margens fluviais corroboram com o aumento da ocorrência de inundações urbanas, que se acentuam durante eventos extremos de precipitação.

Diante das características físico-naturais e do considerável índice de urbanização apresentados na bacia hidrográfica do rio Tejipi, o presente estudo buscou mapear as áreas suscetíveis a inundações nessa região, utilizando o SIG, aliado a um dos métodos de auxílio à

MCDM, o Processo Analítico Hierárquico (AHP), a fim de contribuir como instrumento para a elaboração de políticas públicas mitigadoras desse tipo de evento hidrológico extremo.

2. Localização e caracterização da região do estudo

A bacia hidrográfica do rio Tejiptió localiza-se integralmente na Região Metropolitana do Recife, em Pernambuco, Brasil, está compreendida entre as coordenadas geográficas 08° 02' 4,76" e 08° 09' 26,56" de latitude sul e 34° 52' 26,56" e 35° 02' 47,49" de longitude oeste e detém uma área de, aproximadamente, 90,00 km² (Silva et al., 2017). Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2022), a região estudada pertence ao Grupo 2 das bacias de pequenos rios litorâneos do estado de Pernambuco (GL-2) e contempla os seguintes municípios: São Lourenço da Mata, Jaboatão dos Guararapes e Recife, como mostra a Figura 1. Seu canal principal, o rio Tejiptió, apresenta, aproximadamente, 25,00 km de extensão, tem sua nascente no município de São Lourenço da Mata e seu exutório no Recife, especificamente na bacia do Pina.

De acordo com informações históricas de precipitação disponibilizadas a partir de dez estações pluviométricas monitoradas pela 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 Tejiptió 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 compreendido entre 1º de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2021, totalizando 18 anos. Na região, os índices máximos mensais de precipitação ocorrem, geralmente, no mês de junho, podendo superar o valor da precipitação média máxima mensal, sobretudo na ocorrência de eventos extremos.

Acerca da geomorfologia, a bacia hidrográfica do rio Tejiptió é representada por morros, em seus alto e médio cursos, e planícies costeiras no baixo curso. Em relação ao uso e ocupação do solo, a urbanização é a classe que prevalece no local, constituindo 67,40% de sua área total; a vegetação abrange 22,50% da bacia, sendo representada por resquícios de Mata Atlântica secundária; a prática agrícola corresponde a 4,50% da região, principalmente pelo cultivo de cana-de-açúcar; os manguezais configuram uma área que contempla 5,20% do

território e 0,40% da área total é constituída pelos corpos hídricos, como açudes e lagos (Silva et al., 2016; Silva et al., 2017).

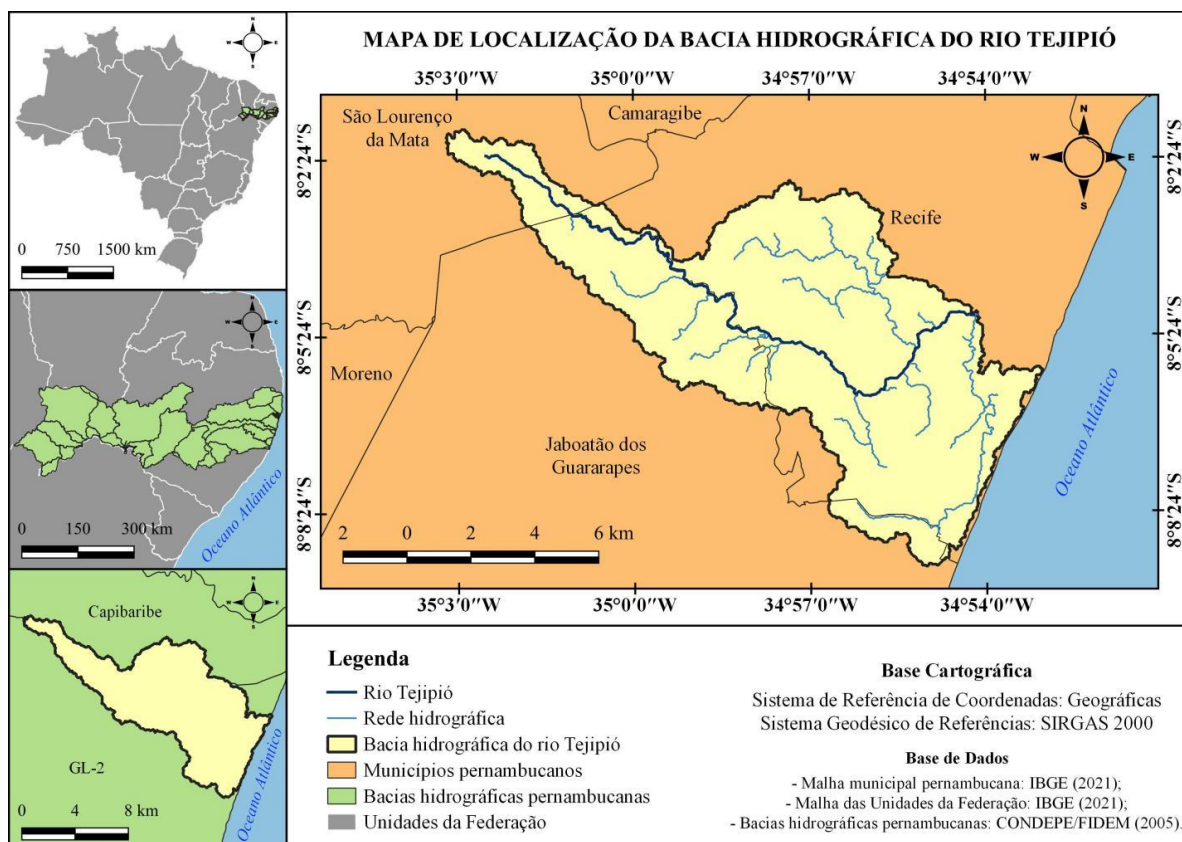


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Tejiú

Fonte: elaboração própria

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

3. Procedimentos metodológicos

Seleção dos fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações

A partir da análise de trinta estudos semelhantes, que consideraram a aplicação do AHP em conjunto com o SIG para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, foi verificado que

os fatores declividade, hipsometria, uso e ocupação do solo, distância entre os corpos hídricos, pedologia e índices de precipitação foram os mais recorrentes, sendo considerados em mais de dez estudos. Devido a essa reincidência, esses fatores também foram utilizados neste trabalho e as suas justificativas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações e suas justificativas

Fator	Justificativa
Declividade	Considera-se a declividade como um parâmetro relevante em relação à suscetibilidade de inundações, pois atua diretamente na determinação do escoamento superficial, da velocidade e das áreas de estagnação das águas precipitadas e/ou fluviais (Abidine & Abdelmansour, 2018; Cabrera & Lee, 2019; Karymbalis et al., 2021; Olii et al., 2021). Regiões planas são mais propensas a inundações do que as que possuem uma inclinação mais íngreme (Campioli & Vieira, 2019).
Hipsometria	A hipsometria de uma região determina as áreas de acumulação da água (Olii et al., 2021). Em consequência da força da gravidade, a água se transporta dos locais de maiores para os de menores cotas altimétricas, provocando inundações (Amaya et al., 2021; Waqas et al., 2021).
Uso e ocupação do solo	Vários processos hidrológicos, como escoamento superficial, taxa de infiltração e evapotranspiração são consideravelmente determinados pelo uso e ocupação do solo de uma região (Karymbalis et al., 2021). As áreas urbanas, que são, em grande parte, formadas por superfícies impermeáveis, tendem a aumentar o escoamento superficial e a diminuir a taxa de infiltração, elevando o potencial do risco de inundações (Olii et al., 2021).
Pedologia	A pedologia é um parâmetro importante na definição das características de infiltração e escoamento superficial de uma área. Isso significa que regiões constituídas por solos argilosos produzem maior escoamento superficial, enquanto regiões de solos arenosos são propícias à infiltração e percolação (Cabrera & Lee, 2019; Campioli & Vieira, 2019; Waqas et al., 2021).
Distância entre corpos hídricos	Os locais mais afetados durante os eventos de inundações são aqueles mais próximos aos corpos hídricos (Abidine & Abdelmansour, 2018; Waqas et al., 2021).
Índices de precipitação	A precipitação é o principal elemento do ciclo hidrológico de entrada de água numa bacia hidrográfica. Segundo Rincón et al. (2018) eventos extremos de precipitação acarretam inundações quando os canais não têm mais a capacidade de transportar a água em excesso. Assim, maiores índices de precipitação levam a maior suscetibilidade de inundações (Amaya et al., 2021; Waqas et al., 2021).

Fonte: elaboração própria

Apesar do diversificado número de fatores elencados, alguns outros também foram considerados em trabalhos semelhantes, como a densidade de drenagem, a geologia, a hierarquia fluvial e entre outros, entretanto não apresentaram significativa recorrência. Assim, esses fatores não foram utilizados neste estudo, por não apresentarem uma grande relevância na análise.

Coleta e tratamento dos dados espaciais para a elaboração dos mapas temáticos

Os dados espaciais utilizados para a confecção dos mapas temáticos dos fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações foram adquiridos junto a órgãos oficiais por meio de suas respectivas plataformas virtuais. Os métodos como esses mapas foram elaborados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Fontes de obtenção dos dados espaciais e métodos para elaboração dos mapas temáticos

Mapa	Fonte dos dados e métodos
Declividade	Produzido em formato matricial (<i>raster</i>), por meio de Modelo Digital do Terreno (MDT), com resolução espacial de 30 metros, proveniente do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D). As declividades retratadas no mapa foram representadas através de valores percentuais e divididas em seis categorias, como propõe a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).
Hipsometria	Confeccionado a partir de MDT oriundo do programa PE3D, no formato <i>raster</i> , e com uma resolução espacial de 30 metros. As cotas altimétricas, representadas em metros, foram agrupadas em dez classes. Para isso, foi utilizada a função “Reclassificar por tabela” da caixa de ferramentas do QGIS (versão 3.10.9).
Uso e ocupação do solo	Obtido pela plataforma virtual do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass), o arquivo foi oriundo da Coleção 6, no formato raster e com resolução espacial de 30 metros. As classes de uso e ocupação do solo utilizadas foram: agropecuária, área artificial, corpo hídrico, mangue, solo exposto, vegetação campestre e vegetação florestal.
Pedologia	Foi realizado o <i>download</i> da distribuição espacial dos solos do estado do Pernambuco pela plataforma virtual da EMBRAPA no formato vetorial (<i>shapefile</i>) e na escala 1:100.000. Em seguida, foi feito o recorte nessa camada sobre o polígono da bacia do rio Tejiú.
Distância entre corpos hídricos	Os dados espaciais relativos à rede hidrográfica foram gerados a partir do MDT da região, o qual foi utilizado no formato raster, com resolução espacial de 30 metros e foi proveniente do programa PE3D. Esse MDT foi processado pela função <i>r.watershed</i> , encontrada na caixa de ferramenta do QGIS (versão 3.10.9), em que possível gerar uma camada, em formato <i>raster</i> , com informações sobre as direções de fluxo da região. A partir da conversão dessa camada para o formato vetorial do tipo linhas, foram gerados <i>buffers</i> , obedecendo os afastamentos determinados na etapa de reclassificação desse fator.
Índices de precipitação	Foram utilizados dados mensais de chuva provenientes de dez estações pluviométricas 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 pluviométricos, foi utilizado o método aritmético para a determinação da precipitação média anual de cada estação. Em seguida, foi usada a ferramenta “Interpolação IDW”, no QGIS (versão 3.10.9), para elaborar o mapa da variabilidade espacial da precipitação da bacia hidrográfica do rio Tejiú.

Fonte: elaboração própria

Todos os dados espaciais utilizados para elaboração dos mapas foram manipulados no *software* QGIS (versão 3.10.9), em coordenadas geográficas e no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade a inundações

Nessa etapa, os dados espaciais quanto aos fatores condicionantes a inundações selecionados neste estudo foram reclassificados conforme um processo de atribuição de notas, permitindo a aplicação do AHP. As notas atribuídas variaram entre os valores 1 e 10, em que a nota 1 representa as áreas menos propensas à ocorrência de inundações e 10, as mais suscetíveis.

A Tabela 3 apresenta os critérios (classes ou distâncias) dos fatores reclassificados quanto às notas atribuídas às condições de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejió.

Tabela 3. Reclassificação dos critérios dos fatores, conforme a suscetibilidade a inundações

Fatores	Classes / Distâncias	Notas	Fatores	Classes / Distâncias	Notas
Declividade (%)	0,00 - 3,00	10	Pedologia	Área Urbana	10
	3,00 - 8,00	8		Água	10
	8,00 - 20,00	4		Solos de Mangue	9
	20,00 - 45,00	2		Gleissolos	7
	> 45,00	1		Argissolos	7
	0,00 - 3,00	10		Espodossolos	7
Hipsometria (m)	0,00 - 2,50	10		Neossolos	4
	2,50 - 5,00	9		Latossolos	1
	5,00 - 20,00	7	Distância entre corpos hídricos (m)	0,00 - 150,00	10
	20,00 - 50,00	5		150,00 - 300,00	8
	50,00 - 75,00	4		300,00 - 500,00	3
	75,00 - 100,00	3		> 500,00	1
	100,00 - 125,00	2	Índices de precipitação (mm)	1.550,00 - 1.600,00	1
Uso e ocupação do solo	Área Artificial	10		1.600,00 - 1.700,00	2
	Corpo Hídrico	10		1.700,00 - 1.800,00	3
	Mangue	9		1.800,00 - 1.900,00	4
	Solo Exposto	7		1.900,00 - 2.000,00	5

Fatores	Classes / Distâncias	Notas	Fatores	Classes / Distâncias	Notas
	Agropecuária	7		2.000,00 - 2.100,00	7
	Vegetação Campestre	3		2.100,00 - 2.150,00	9
	Vegetação Florestal	1		2.150,00 - 2.200,00	10

Fonte: elaboração própria

Para realizar a reclassificação, segundo a atribuição das notas apresentadas no Tabela 3, foi utilizada a função do QGIS (versão 3.10.9) “Reclassificar por tabela”. Os dados espaciais de representação vetorial foram convertidos para o formato raster, para que esse tipo de procedimento fosse possível ser realizado.

Aplicação do AHP

A técnica proposta para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejipió levou em consideração a aplicação do AHP, que se refere a um método de auxílio à MCDM, concebido por Thomas L. Saaty no ano de 1977. O AHP é constituído por um método voltado à tomada de decisões sobre questões complexas que envolvem múltiplos critérios, os quais são hierarquizados e organizados em níveis de abstração ou detalhamento, permitindo ao tomador de decisões estabelecer prioridades e alcançar a melhor escolha (Gómez et al., 2020; Moreira & Ortega, 2021; Rodríguez et al., 2022).

Aplicando o AHP, foi estabelecida uma escala de importância através dos pesos conferidos aos fatores avaliados, visto que cada um deles possui relativa relevância quanto à suscetibilidade a inundações. Assim, os fatores foram dispostos numa Matriz de Comparação Pareada (Tabela 4), onde foram julgados paritariamente conforme a Escala Fundamental de Saaty, apresentada na Tabela 5 (Gonçalves et al., 2021; Vidal et al., 2021).

Tabela 4. Matriz de Comparação Pareada

Fator	Fator 1	...	Fator p	...	Fator n
Fator 1	1	...	a _{1p}	...	a _{1n}
...

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

Fonte: elaboração própria

Tabela 5. Escala de julgamento de importância do AHP

Valores	Descrição da importância	Justificativa
1	Igual	Ambos fatores contribuem equitativamente.
3	Moderada	O fator comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	Essencial ou 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	Valores intermediários	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1977)

Após o preenchimento da Matriz de Comparação Pareada, foi gerado o vetor de pesos associado a essa matriz, conforme apresenta a Tabela 6, em que cada elemento desse vetor indica a importância relativa de cada fator, quando comparado aos demais.

Tabela 6. Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada

Fator	Fator 1	...	Fator p	...	Fator n	Auto-vetor	Pesos
Fator 1	1	...	a_{1p}	...	a_{1n}	$\bar{g}_1 = \sqrt[n]{a_{11} \times \dots \times a_{1p} \times \dots \times a_{1n}}$	$\omega_1 = \frac{\bar{g}_1}{S}$
...
Fator p	a_{p1}	...	1	...	a_{pn}	$\bar{g}_p = \sqrt[n]{a_{p1} \times \dots \times a_{pp} \times \dots \times a_{pn}}$	$\omega_p = \frac{\bar{g}_p}{S}$
...
Fator n	a_{n1}	...	a_{np}	...	1	$\bar{g}_n = \sqrt[n]{a_{n1} \times \dots \times a_{np} \times \dots \times a_{nn}}$	$\omega_n = \frac{\bar{g}_n}{S}$

Fator	Fator 1	...	Fator p	...	Fator n	Auto-vetor	Pesos
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: elaboração própria

Posteriormente, conforme critério estabelecido por Saaty (1977), foi necessário verificar a consistência dos resultados obtidos. Essa etapa foi realizada por meio da determinação do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC). O IC foi obtido a partir da Equação 1.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Em que n é a quantidade de fatores elencados na Matriz de Comparação Pareada e λ_{\max} é o Autovalor máximo, que é definido segundo a Equação 2.

$$\lambda_{\max} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{p=1}^n \frac{\omega S_p}{\omega_p} \quad (2)$$

Em que $\sum_{p=1}^n \frac{\omega S_p}{\omega_p}$ é o Vetor Coerência (C), sendo ω_p o Coeficiente de Ponderação (peso) e ωS_p o Vetor Soma, ambos determinados conforme o Tabela 6.

Por fim, para determinar a RC (Equação 3) foram utilizados os valores do IC e do Índice Randômico (IR), que varia de acordo com a quantidade “ n ” de fatores utilizados na Matriz de Comparação Pareada. Saaty (1987) propôs uma tabela com os IR’s de matrizes de ordem 1 a 10, demonstrados em laboratório, conforme exibe a Tabela 7. Para este estudo, que foram adotados seis fatores, o valor correspondente ao IR foi de 1,24. De acordo com Saaty (1987), os julgamentos obtidos serão considerados consistentes, caso a RC seja menor ou igual a 10%.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Em que IC é o Índice de Consistência e IR é o Índice Randômico.

Tabela 7. Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada

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

Fonte: elaboração própria

Utilização de álgebra de mapas e elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações

Para essa etapa foi utilizada a função “Calculadora Raster” do QGIS (versão 3.10.9), na qual os dados matriciais reclassificados dos fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações foram associados com os pesos determinados pelo AHP. Como subsídio para utilização da referida função, foi aplicado o modelo matemático exibido na Equação 4.

$$M = \omega_D \times D + \omega_H \times H + \omega_U \times U + \omega_S \times S + \omega_A \times A + \omega_P \times P \quad (4)$$

Em que M representa o mapa de suscetibilidade a inundações, D é a declividade, H é a hipsometria, U é o uso e ocupação do solo, S é a pedologia, A é a distância dos corpos hídricos, P é a variabilidade espacial da precipitação e ω é o peso do respectivo fator (obtido pelo AHP).

Por fim, o produto gerado por meio da álgebra de mapas foi reclassificado, de modo que os pixels que detinham valores compreendidos entre zero e dois, dois e quatro, quatro e seis, seis e oito e oito e dez representavam, respectivamente, as áreas de suscetibilidade à ocorrência de inundações consideradas como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

Verificação da eficiência do mapa de suscetibilidade a inundações

No sentido de verificar a eficiência do método proposto neste estudo para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejiptó, o mapa gerado foi comparado com registros fotográficos de episódios desse tipo de desastre hidrológico ocorridos na região estudada para um recorte temporal compreendido entre os anos de 2017 e 2022, levantados a partir de informações adquiridas junto a sites de notícias. Esses registros fotográficos foram obtidos através de busca em navegadores de *internet*, a partir dos *strings*

“inundações” e “bacia hidrográfica do rio Tejipió”.

4. Resultados e discussão

A partir do SIG foi possível produzir os mapas que caracterizam a bacia hidrográfica do rio Tejipió quanto aos fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações estabelecidos neste estudo (Figura 2). São eles: declividade (A), hipsometria (B), uso e ocupação do solo (C), pedologia (D), hidrografia (E) e índices pluviométricos (F).

Analisando a supracitada figura, é possível observar que, quanto à topografia da região, as baixas cotas altimétricas e declividades são predominantes na região costeira. Em relação ao uso e ocupação do solo, a classe da ocupação urbana prevalece nos médios e baixo cursos da bacia, enquanto que as áreas vegetadas podem ser constatadas, em grande parte, no alto curso do rio principal e no do rio Jiquiá. A respeito da pedologia, os solos argilosos, que representam solos mais impermeáveis, são os mais frequentes na bacia, enquanto os mais permeáveis são identificados em menor quantidade, sobretudo na parte noroeste da região.

Acerca da hidrografia, além do rio principal, se destacam alguns tributários, especificamente os rios Jordão e Jiquiá, que integram, respectivamente, as partes leste e centro-norte da bacia. No tocante a variabilidade da precipitação anual, os índices pluviométricos compreendidos entre 1.750 mm e 1.900 mm são os mais incidentes na região, abrangendo, sobretudo, o baixo curso da bacia.

A Matriz de Comparação Pareada concebida para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia do rio Tejipió foi elaborada conforme o que está apresentado no Tabela 8. Ao analisar os valores dos pesos dispostos na matriz, verifica-se que o fator referente a distância entre corpos hídricos foi classificado como o mais importante, seguido da declividade e da hipsometria, enquanto a pedologia foi definido como o menos importante.

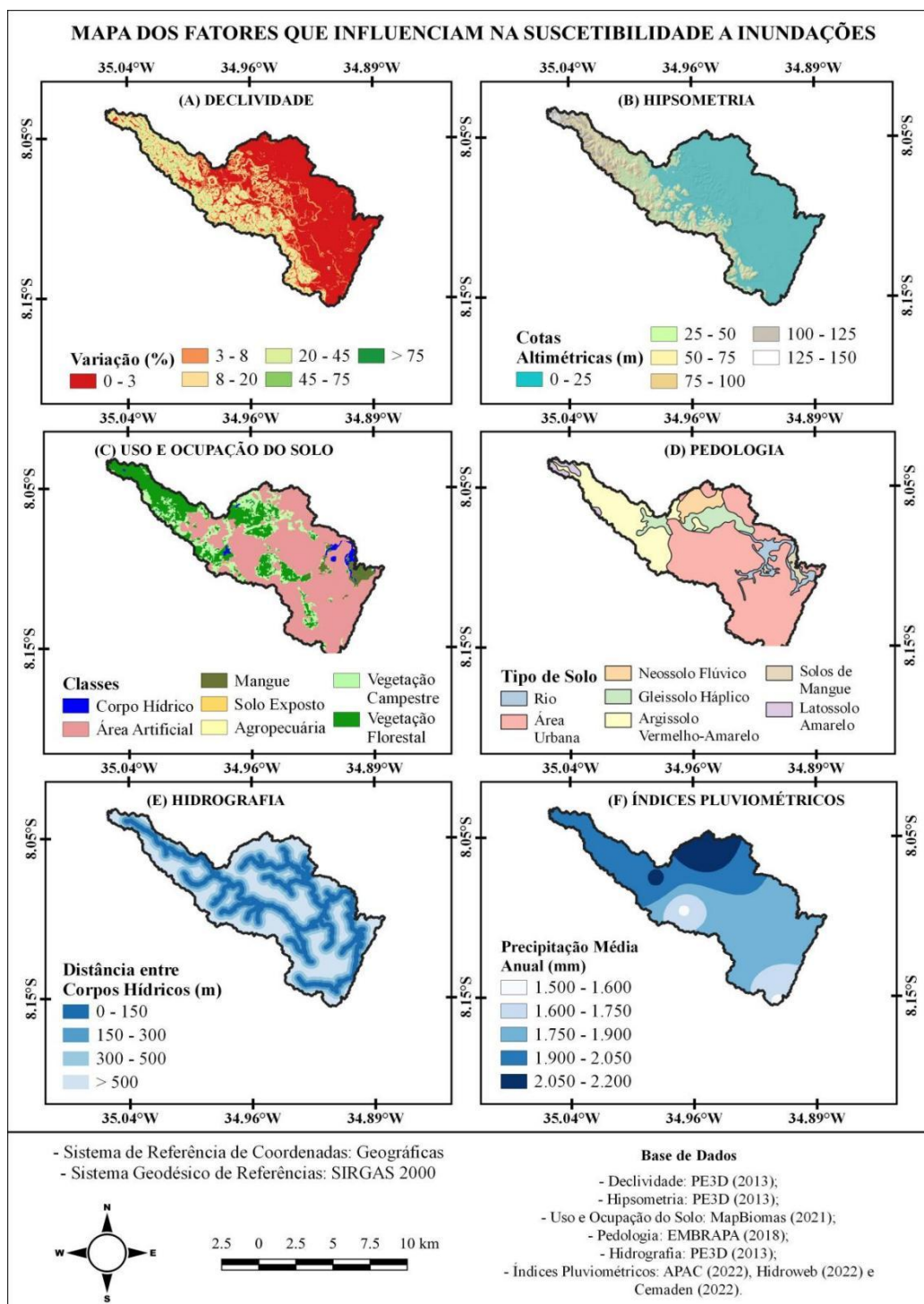


Figura 2. Representação dos fatores que influenciam na suscetibilidade a inundações selecionados para este estudo
Fonte: elaboração própria

Tabela 8. Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos fatores que influenciam na suscetibilidade a inundações elencados para este estudo

Fator	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	Pesos
Declividade (A)	1	3	5	7	1-feb	6	0,302
Hipsometria (B)	1-mar	1	3	6	1-mar	4	0,1637
Uso e Ocupação do Solo (C)	1-may	1-mar	1	5	1-may	3	0,0885
Pedologia (D)	1-jul	1-jun	1-may	1	1-ago	1-mar	0,0279
Distância entre Corpos Hídricos (E)	2	3	5	8	1	4	0,3636
Índices Pluviométricos (F)	1-jun	1-abr	1-mar	3	1-abr	1	0,0541

Fonte: elaboração própria

Após o cálculo dos pesos para cada fator, foi necessário realizar a análise da consistência desses resultados. Consequente, o valor do IC resultou em 0,0846 e o da RC em 6,82%. Por ser obtida uma RC com valor abaixo de 10%, as comparações realizadas podem ser consideradas coerentes e os resultados, confiáveis, de acordo com Saaty (1987).

Dessa forma, foi possível desenvolver o modelo matemático para confecção do mapa de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejipió (Equação 5), o qual foi submetido à álgebra de mapas no ambiente SIG, produzindo o mapa apresentado na Figura 3.

$$M = 0,3020 \times D + 0,1637 \times H + 0,0885 \times U + 0,0279 \times S + 0,3636 \times A + 0,0541 \times P \quad (5)$$

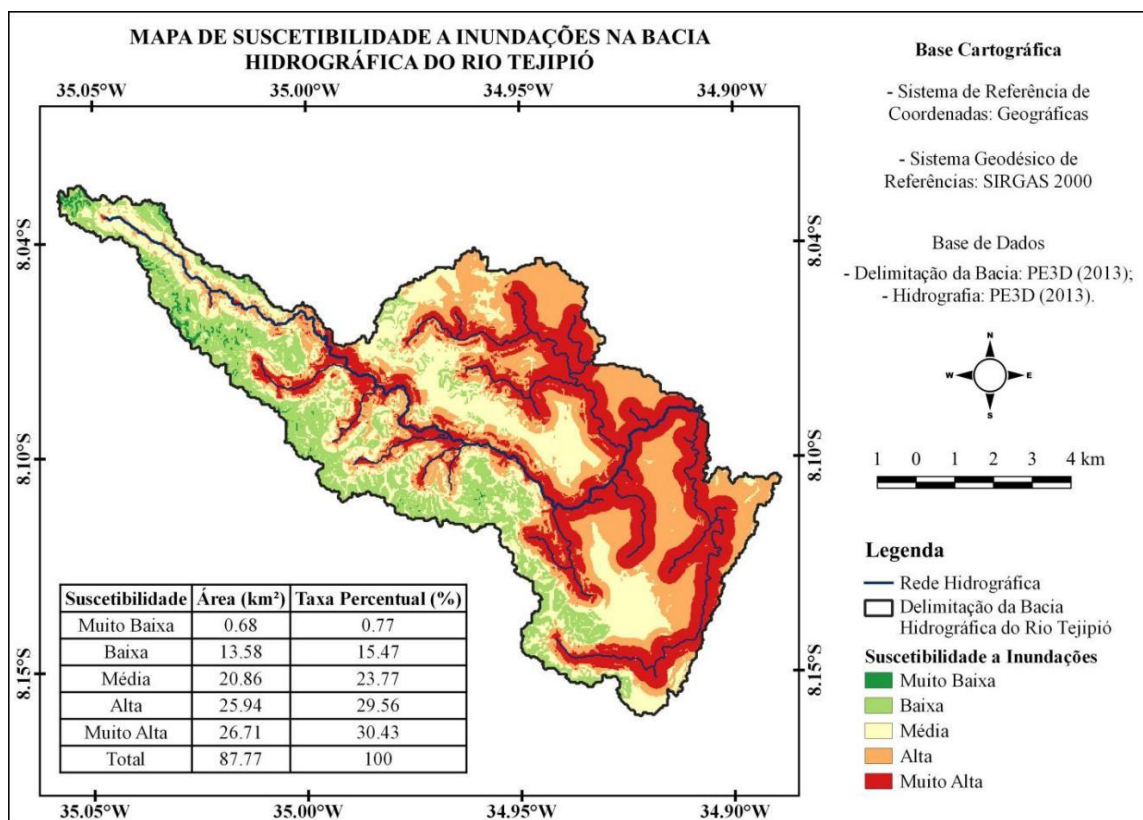


Figura 3. Mapa de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejipió

Fonte: elaboração própria

Ao analisar a região mapeada, observa-se que as áreas mais propensas a inundações são representadas pela maior parte da bacia hidrográfica do rio Tejipió, predominando a região costeira e a porção nordeste, totalizando uma área de 52,65 km², isto é, aproximadamente 60,00% da região estudada. Esse resultado se deve, sobretudo, por essas porções da bacia contemplarem áreas densamente urbanizadas e que apresentam baixas cotas altimétricas e declividades, menores ou iguais a 3,00%. Ademais, foi constatado que as regiões com menores índices de suscetibilidade a inundações representam 16,24% da área total da bacia, estando situadas nas partes oeste e noroeste. Essas regiões são representadas, expressivamente, por áreas vegetadas, declividades compreendidas entre 8,00% e 76,53%, solos mais permeáveis e elevadas cotas altimétricas.

De modo semelhante, Amaya et al. (2021) constataram que as áreas mais propensas a inundações no departamento de Diamaré, no extremo norte de Camarões, são caracterizadas por apresentarem declividades e altitudes baixas. Waqas et al. (2021) verificaram que as

regiões de alta suscetibilidade a inundações no distrito de Chitral, no Paquistão, são as localizadas nas margens dos rios e com elevados índices de precipitação. Ao mapear as áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Una, em Pernambuco, Leal et al. (2020) revelaram que as zonas com maiores propensões estão situadas nas proximidades do exutório, ou seja, as que apresentam baixas cotas altimétricas.

Corroborando os resultados gerados neste estudo, foi efetuada uma investigação, junto a sites de notícias, sobre episódios de inundações ocorridos na bacia hidrográfica do rio Tejipió, o que resultou nos registros fotográficos apresentados na Figura 4. Esses registros coincidem de estar localizados em áreas de maiores suscetibilidades a inundações, segundo o mapeamento produzido neste estudo.

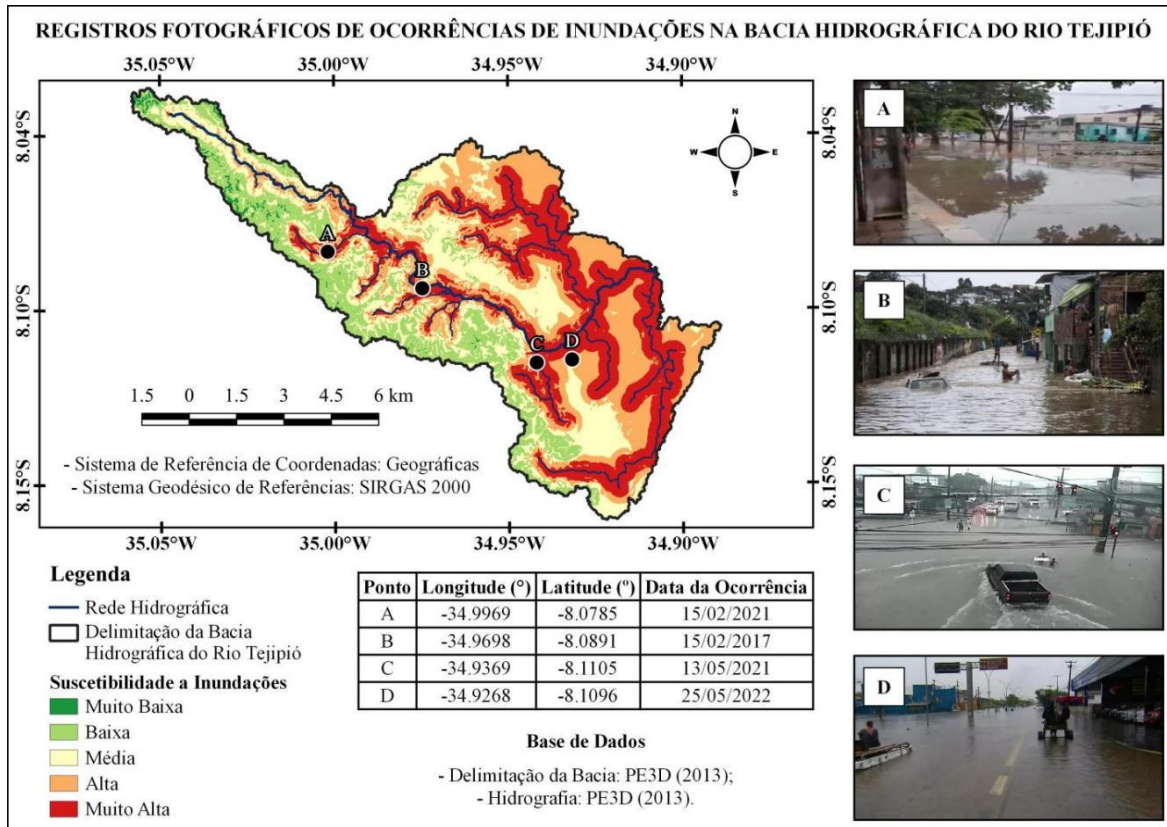


Figura 4. Registros fotográficos de ocorrências de inundações na bacia hidrográfica do rio Tejipió

Fonte: elaboração própria

Essas verificações corroboram a eficácia do método utilizado neste estudo, validando seu significativo nível de precisão, possibilitando que o mapeamento seja utilizado por órgãos competentes, fundamentando a elaboração de políticas públicas que atenuem esse tipo de desastre. Conforme Cury et al. (2021), um mapeamento consistente quanto à suscetibilidade a inundações pode ser considerado como uma importante medida não estrutural no planejamento e na gestão do risco a desastres hidrológicos, possibilitando a elaboração de medidas eficazes à prevenção, proteção e mitigação dos impactos negativos do desastre.

5. Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo realizar o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejipió, em Pernambuco, Brasil. Para isso, foi utilizado o AHP em conjunto com a tecnologia do SIG, levando em consideração alguns fatores condicionantes ao supracitado desastre hidrológico, como a declividade, a hipsometria, o uso e ocupação do solo, a pedologia, a distância entre corpos hídricos e os índices de precipitação.

Pelos resultados, foi verificado que as áreas mais propensas à ocorrência de inundações correspondem a, aproximadamente, 52,65 km² da bacia, representando aproximadamente 60,00% da região estudada. Essas áreas são caracterizadas por serem densamente urbanizadas e apresentarem baixas cotas altimétricas e declividades menores ou iguais a 3,00%. Ainda conforme com os resultados produzidos, 16,24% da bacia hidrográfica do rio Tejipió contemplam as regiões de menores suscetibilidade a inundações, abrangendo as áreas vegetadas, de declividades compreendidas entre 8,00% e 76,53%, solos mais permeáveis e elevadas cotas altimétricas.

A aplicação do AHP aliado ao SIG para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações se mostrou uma solução vantajosa quanto à aplicabilidade e viabilidade, possibilitando tomadas de decisões mais assertivas por gestores e/ou profissionais da área. Essa vantagem se deve, principalmente, ao baixo custo e à fácil manipulação dos dados, permitindo uma considerável possibilidade de aplicações, principalmente em locais em que o acesso é deficitário.

6. Referências Bibliográficas

- Abdelkarim, A., Al-Alola, S., Alogayell, H., Mohamed, S., Alkadi, I., & Ismail, I. (2020). Integration of GIS-Based Multicriteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process to Assess Flood Hazard on the Al-Shamal Train Pathway in Al-Qurayyat Region, Kingdom of Saudi Arabia. *Water*, 12(6), 1702. <https://doi.org/10.3390/w12061702>
- Abdrabo, K., Kantoush, S., Saber, M., Sumi, T., Habiba, O., Elleithy, D., & Elboshy, B. (2020). Integrated Methodology for Urban Flood Risk Mapping at the Microscale in Ungauged Regions: A Case Study of Hurghada, Egypt. *Remote Sensing*, 12(21), 3548. <https://doi.org/10.3390/rs12213548>
- Abidine, Z., & Abdelmansour, N. (2018). Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère et SIG: Cas de la wilaya d'Oran Nord-Ouest de l'Algérie. *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, 3(1), 67-73. <https://tinyurl.com/2956khbm>
- Alves, M., Fan, F., Paiva, R., Siqueira, V., Fleischmann, A., Brêda, J., Laipelt, L., & Araújo, A. (2022). Assessing the capacity of large-scale hydrologic-hydrodynamic models for mapping flood hazard in southern Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27, e9. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220009>
- Amaral, R., & Ross, J. (2020). Legislation and management for risks reduction related to floods in São Paulo/SP, Brazil. *Sociedade & Natureza*, 32, 525-538. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-49531>
- Amaya, A., Ntoubmé, M., Diguim, A., & Kah, E. (2021). Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG): Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 33(3), 491-501. <https://tinyurl.com/5wsm8akn>

- Agência Pernambucana de Águas e Clima. (2022). *Bacias Hidrográficas - GL-2*. Agência Pernambucana de Águas e Clima. <https://tinyurl.com/5yss45s5>
- Bega, J., Ribeiro, N., & Lima, C. (2019). Suscetibilidade a enchentes: estudo de caso na microbacia hidrográfica do Córrego da Onça em Três Lagoas – MS. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista*, 15(3), 33-44. <https://doi.org/10.17271/1980082715320192189>
- Cabrera, J., & Lee, H. (2019). Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: A Case Study in Davao Oriental, Philippines. *Water*, 11(11), 2203. <https://doi.org/10.3390/w11112203>
- Campioli, P., & Vieira, C. (2019). Avaliação do risco a inundação na Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(1), 124-138. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p124-138>
- Cartaya, S., Zurita, S., & Mantuano, R. (2018). Identificación de conflictos de uso de la tierra para la observación de Cuniculus paca, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(8), 262-279. <https://tinyurl.com/5a6feu9n>
- Cury, M., Ladwig, N., Menegasso, J., Sutil, T., & Conto, D. (2021). Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. *Caminhos de Geografia*, 22(83), 160-175. <https://doi.org/10.14393/RCG228356231>
- Dash, P., & Sar, J. (2020). Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index. *Journal of Flood Risk Management*, 13(3), e12620. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12620>
- Freiman, F., & Carvalho, C. (2020). Modelagem espacial de áreas suscetíveis a inundações

- baseada em um modelo multicritério híbrido e Sistema de Informação Geográfica: um estudo de caso aplicado a bacia do rio Bengalas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(3), 1145-1161. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1145-1161>
- Frutuoso, G., Grigio, A., & Barros, T. (2020). Inundações urbanas: um olhar para o planejamento urbano na revisão do plano diretor de Assú – RN, Brasil. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 8(61), 118-134. <https://doi.org/10.17271/2318847286120202431>
- Gómez, J., Soto, R., & Garduño, S. (2020). Selección de un modelo para evaluar la sostenibilidad hidroeléctrica mediante el método AHP. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 30, 117-141. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3835>
- Gonçalves, W., Rocha, A., Zatta, F. N., & Santos, D. (2021). Analytic hierarchy process (AHP) e a definição de atributos para apoio a tomada de decisão: uma análise bibliométrica. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 103-118. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v7i5.36744>
- Karymbalis, E., Andreou, M., Batzakis, D., Tsanakas, K. & Karalis, S. (2021). 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*, 13(18), 10232. <https://doi.org/10.3390/su131810232>
- Leal, F., Barbosa, I., & Aquino, J. (2020). Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: O caso da bacia hidrográfica do rio Una em Pernambuco. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(01), 20-40. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e01202020-40>
- Li, J., Li, J., & Yao, K. (2018). Inundation Analysis of Reservoir Flood Based on Computer

- Aided Design (CAD) and Digital Elevation Model (DEM). *Water*, 10(4), 530. <https://doi.org/10.3390/w10040530>
- Liang, C., Zeng, J., Zhang, R., & Wang, Q. (2022). Connecting urban area with rural hinterland: a stepwise ecological security network construction approach in the urban-rural fringe. *Ecological Indicators*, 138, 108794. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108794>
- Lima, D., Sousa Júnior, A., Lima Júnior, F., & Silva, M. (2019). Formação urbana e organização imobiliária: estudo acerca das cidades de São Miguel/RN e Pau dos Ferros/RN. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, 8(3), 475-496. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v8n3.9232>
- Mantovani, J., & Bacani, V. (2018). Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis à inundação e/ou alagamento, na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS. *GEOUSP Espaço e Tempo*, 22(3), 687-706. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.146752>
- Mendes, T., Sousa, M., Pereira, S., Santos, K., & Formiga, K. (2022). Uso do modelo HEC-RAS com base em informações de LiDAR para avaliação de inundações urbanas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27(1), 141-157. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200276>
- Miranda, N., Caprario, J., Martini, L., & Finotti, A. (2019). Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42(4), 172-181. https://doi.org/10.11137/2019_4_172_181
- Moreira, L., & Ortega, C. (2021). Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 15-39. <https://tinyurl.com/yb9tdkbf>

- Olii, M., Olii, A., & Pakaya, R. (2021). The integrated spatial assessment of the flood hazard using AHP-GIS: The case study of Gorontalo Regency. *The Indonesian Journal of geography*, 53(1), 126-135. <https://doi.org/10.22146/ijg.59999>
- Ozturk, D., Yilmaz, I., & Kirbas, U. (2021). Flood hazard assessment using AHP in Corum, Turkey. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(2), 379-415. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2021-02-08>
- Pasaribu, R., Budi, P., Hakim, M., Aditama, F., & Ayuningtyas, N. (2021). Coastal Inundation Model in the Coastal Area of Palopo City, South Sulawesi Province. *Journal of Applied Geospatial Information*, 5(1), 451-456. <https://doi.org/10.30871/jagi.v5i1.2791>
- Pereira, G., Sousa Junior, A., & Vieira, A. (2022). Marco Legal da Urbanização no Brasil: reflexos na função social da propriedade. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, 11(1), 77-94. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v11n1.14541>
- Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(3), 1000-1017. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043>
- Rincón, D., Khan, U., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A Greater Toronto area case study. *Geosciences*, 8(8), 275. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>
- Rodríguez, E., Gómez, T., & García, A. (2022). Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico en la comunicación digital de los organismos públicos durante la pandemia de la COVID-19. *Revista Latina de Comunicación Social*, (80), 89-117. <https://doi.org/10.4185/RLCS-2022-1532>
- Saaty, T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of*

- Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, R. (1987). The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Santos, K., Formiga, K., Braga, V., & Faria, K. (2021). Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia - GO. *Urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13, e20200047. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200047>
- Santos, K., Rufino, I., & Barros, M. (2017). Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(5), 943-952. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146661>
- Santos, M., Oliveira de Jesus, M., Lisboa, G., & Pires, M. (2020). Ações mitigadoras na desocupação de área de preservação permanente em Itajuípe, Bahia (Brasil). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(2), 412-426. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n2.79630>
- Santos, T., Ferreira, A., Ventorini, S., Zacharias, A., & Teixeira, A. (2022). Análise Multicriterial de Decisão aplicada às áreas suscetíveis a inundações na bacia do córrego do Lenheiro – São João Del-Rei, Minas Gerais. *GEOgraphia*, 24(53), e47218. <https://tinyurl.com/3dzbkce9>
- Silva, C., Bispo, C., Santana, G., & Girão, O. (2017). Deslizamentos e enchentes na bacia do rio Tejiú: percepção e resiliência frente a riscos geomorfológicos. *OKARA: Geografia em debate*, 11(2), 316-337. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2017v11n2.31978>

- Silva, C., Bispo, C., Silva, S., & Girão, O. (2016). Análise do sistema fluvial frente ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Tejipió – Região Metropolitana do Recife. *I Workshop de Geomorfologia e Geoarqueologia do Nordeste* (89-100). Recife, Brasil: GEQUA. <https://tinyurl.com/bdwtkcpy>
- Silva, S., Martins, M., & Spink, M. (2020). Percepção e hierarquia de riscos de inundação recorrente em área urbana regularizada: uma análise discursiva. *Saúde em Debate*, 44(2), 202-213. <https://doi.org/10.1590/0103-11042020E214>
- Surwase, T., Manjusree, P., Nagamani, P., & Jaisankar, G. (2019). Novel technique for developing flood hazard map by using AHP: a study on part of Mahanadi river in Odisha. *SN Applied Sciences*, 1(10), 1196. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1233-6>
- Tiwari, V., Kumar, V., Matin., Thapa, A., Ellenburg, W., Gupta, N., & Thapa, S. (2020). Flood inundation mapping - Kerala 2018; Harnessing the power of SAR, automatic threshold detection method and Google Earth Engine. *Plos One*, 15(8), e0237324. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237324>
- Vidal, J., Gómez, O., Tafur, J., & Torres, R. (2021). Sistemas de Información Geográfica y Localización de un Relleno Sanitario en Cerro de Pasco. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 217-227. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21774>
- Vojtek, M., & Vojteková, J. (2019). Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the Analytical Hierarchy Process. *Water*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/w11020364>
- Waqas, H., Lu, L., Tariq, A., Li, Q., Baqa, M., Xing, J., & Sajjad, A. (2021). Flash flood susceptibility assessment and zonation using an integrating Analytic Hierarchy Process and Frequency Ratio Model for the Chitral District, Khyber Pakhtunkhwa,

Pakistan. *Water*, 13(12), 1650. <https://doi.org/10.3390/w13121650>

Wu, S., Sumari, N., Dong, T., Xu, G., & Liu, Y. (2021). Characterizing Urban Expansion Combining Concentric-Ring and Grid-Based Analysis for Latin American Cities. *Land*, 10(5), 444. <https://doi.org/10.3390/land10050444>