

## **Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco**

*Mapping of areas vulnerable to flooding in the municipality of Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco*

**Amaury Gouveia Pessoa Neto**

Universidade de Pernambuco, Recife, PE, Brasil  
agpn@poli.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6320-8066>

**Simone Rosa da Silva**

Universidade de Pernambuco, Recife, PE, Brasil  
simonerosa@poli.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7138-7546>

**Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Recife, PE, Brasil  
ionarameh@recife.ifpe.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5795-1398>

### **RESUMO**

O fenômeno da urbanização no Brasil se desenvolveu de maneira acelerada e desordenada, alterando significativamente as condições de uso do solo e resultando em consideráveis mudanças no ciclo hidrológico. O reflexo desse processo se tornou um dos principais problemas enfrentados pela cidade, que é o aumento da ocorrência de inundações e alagamentos. Assim, o presente trabalho buscou mapear as áreas suscetíveis a esses tipos de desastres hidrológicos no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, utilizando o AHP (Processo Analítico Hierárquico), em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para isso, foram selecionados sete fatores que contribuem para os desastres hidrológicos que foram processados no *software* QGIS (v. 3.10.9), reclassificados e dispostos à álgebra de mapas. Dessa forma, foi possível confeccionar o mapa das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos para a região estudada, sendo observado que as regiões que apresentaram maiores propensões aos desastres hidrológicos são as mais próximas aos corpos hídricos e que possuem baixas declividades e altitudes, fortes intervenções antrópicas e solos com baixa capacidade de infiltração. A utilização do AHP quanto ao mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes se demonstrou uma alternativa vantajosa quanto à aplicabilidade e viabilidade, permitindo tomadas de decisões por gestores e/ou profissionais da área.

**Palavras-chave:** AHP (Processo Analítico Hierárquico), Desastres Hidrológicos, Sistemas de Informações Geográficas.

### **ABSTRACT**

The urbanization phenomenon in Brazil has developed in an accelerated and disorderly way, significantly changing the conditions of land use and resulting in considerable changes in the water cycle. The impact of this process has become one of the main problems faced by the city which is the increase of floods. Thus, the present work sought to map the areas vulnerable to these types of water disasters in the municipality of Jaboatão dos Guararapes, in Pernambuco, using the AHP (Analysis Hierarchy Process) in a Geographic Information System (GIS). Therefore, seven factors that contribute to water disasters were selected and processed in the QGIS software (3.10.9) where they were regrouped and arranged for map algebra. So, it was possible to make a map of areas vulnerable to flooding in the considered region where it was observed that the regions that are more prone to water disasters are those that are close to water bodies and have low inclination and altitudes, strong human interventions and soils with low infiltration capacity. The use of AHP for mapping areas vulnerable to flooding in the municipality of Jaboatão dos Guararapes showed a beneficial alternative in terms of applicability and feasibility, allowing decision-making by managers and/or professionals.

**Keywords:** AHP (Analysis Hierarchy Process), Water Disasters, Geographic Information Systems.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização ocorreu no Brasil com maior intensidade a partir da segunda metade do século XX, quando houve um movimento significativo de pessoas do campo em direção à cidade, denominado êxodo rural, impulsionado pelas alternativas geradas pela industrialização (ALVES *et al.*, 2018; FREITAS; ROBAINA, 2019; LIMA *et al.*, 2021). Entretanto, esse fenômeno, responsável por modificar a sociedade e o território brasileiro, foi evoluindo de maneira intensa, acelerada e não planejada, acarretando problemas de diversas ordens, tais como social, econômica, cultural e ambiental, interferindo diretamente no cotidiano da população (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017; SILVA JÚNIOR; FONSECA NETO; CABRAL, 2020).

O desenvolvimento urbano desordenado altera significativamente as condições de uso do solo, transformando áreas vegetadas em áreas impermeabilizadas, resultando em consideráveis mudanças no ciclo hidrológico. Intervenções antrópicas como o desmatamento, a alteração da topografia natural do terreno e a ampliação das áreas impermeabilizadas potencializam o escoamento superficial e a vazão dos cursos d'água, reduzindo a infiltração da água precipitada e a evapotranspiração (ABDELKARIM *et al.*, 2020; BEGA; RIBEIRO; LIMA, 2019; FONSECA NETO *et al.*, 2020; FRUTOSO; GRIGIO; BARROS, 2020; HOLANDA *et al.*, 2020; RAMALHO; OLIVEIRA; DOURADO, 2017).

De acordo com Souza e Amorim (2018), o reflexo dessa antropização se tornou um dos principais problemas enfrentados pela cidade, que é o aumento dos episódios de inundações, alagamentos e enxurradas. Amaral e Ribeiro (2015) denominam como inundação o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea. O alagamento é considerado como o acúmulo momentâneo de águas em determinados locais em decorrência de falhas no sistema de drenagem, podendo ser agravado por processos fluviais. Para o Ministério da Saúde do Brasil, esses desastres hidrológicos ocasionam danos humanos, patrimoniais e ambientais, fazendo com que, recorrentemente, milhares de famílias evacuem as suas residências (temporária ou definitivamente) e tenham a saúde física e mental exposta a diversos tipos de agravos e doenças (BRASIL, 2017).

Com a evolução constante dos recursos tecnológicos, é possível realizar o desenvolvimento de sistemas que auxiliam na identificação de áreas de risco, sobretudo de eventos hidrológicos extremos. Ademais, realiza-se o seu mapeamento, sendo esse progresso favorecido pelo avanço e facilidade de acesso à tecnologia do Sistema de Informações Geográficas (SIG) (MANTIS; VAZ, 2019). Além dessas vantagens, o SIG, aliado às outras técnicas de geoprocessamento, 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).

Aliada ao SIG, a Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDM) tem sido reconhecida como uma importante ferramenta para analisar problemas de decisão complexos que envolvem diversos dados ou critérios, podendo ser empregada para subsidiar objetivos técnicos, ambientais e socioeconômicos, alcançando uma decisão ótima (ABDELKARIM *et al.*, 2020; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016). Karymbalis *et al.* (2021) afirmam que a utilização da MCDM, juntamente ao SIG, tornou-se bastante comum nos campos da Geociências, sobretudo 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 às inundações e alagamentos.

Nesse contexto, Samanta *et al.* (2016) analisaram o risco de inundação do baixo curso do rio Markham, em Morobe, província da Papua Nova Guiné; Rahmati, Zeinivand e Besharat (2016) avaliaram a eficiência da MCDM quanto à identificação das zonas de risco de inundação do rio Yasooj, em Ysuj, cidade do Irã, comparando-a com os resultados de um modelo hidrodinâmico, o HEC-RAS; Abidine e Abdelmansour (2018) realizaram o zoneamento de suscetibilidade à inundações para a região de Oran, localizada no noroeste da Argélia, que é considerada uma região

de elevado risco hídrico, dadas as características geográficas e as variantes geológicas, geomorfológicas, climáticas e hidrológicas; Seejata *et al.* (2018) avaliaram as áreas de risco de inundação da província de Sukhothai, na Tailândia, a qual sofre com esse tipo de desastre anualmente; 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 e Karymbalis *et al.* (2021) mapearam, quanto ao risco de inundação, a bacia hidrográfica do rio Megalo Rema, na Ática Oriental, Grécia, como uma área periurbana propensa ao referido desastre.

Em nível nacional, também é comum a realização de estudos sobre o mapeamento quanto à suscetibilidade de inundações e alagamentos abordando essas técnicas. Alguns desses estudos puderam ser elencados, os quais abrangem diversas regiões do Brasil, como a bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte, em Santa Catarina (CAMPIOLI; VIEIRA, 2019); o município do Guarujá, em São Paulo (MANTIS; VAZ, 2019); o município de Irati, no Paraná (RUDNIAK; OLIVEIRA FILHO; ANDRADE, 2019); o município de Limoeiro, em Pernambuco (BRAGA *et al.*, 2020); a bacia hidrográfica do rio Una, em Pernambuco (LEAL *et al.*, 2020); o município de Uberlândia, em Minas Gerais (GOULART; MATSUOKA, 2021) e o município de Juazeiro do Norte, no Ceará (PALÁCIO *et al.* 2021).

O município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, está situado, em grande parte, numa região de planícies fluviomarinhas e de terraços fluviais, que apresentam baixas cotas altimétricas, compreendidas entre dois e oito metros em relação ao nível do mar (BADARAU; LISTO, 2020). Além disso, a partir do final do século XX, a região passou por profundas transformações no processo de expansão da malha urbana, o qual ocorreu de modo desordenado, sem o suporte e fiscalização do Poder Público, acarretando zonas urbanas densamente povoadas (PEREIRA; FERREIRA, 2013). Problemas como o de controle da disposição de resíduos sólidos e o de ocupação de moradias em áreas inapropriadas se acentuaram, corroborando com os episódios das inundações urbanas e alagamentos, que se agravam durante eventos de precipitação extrema.

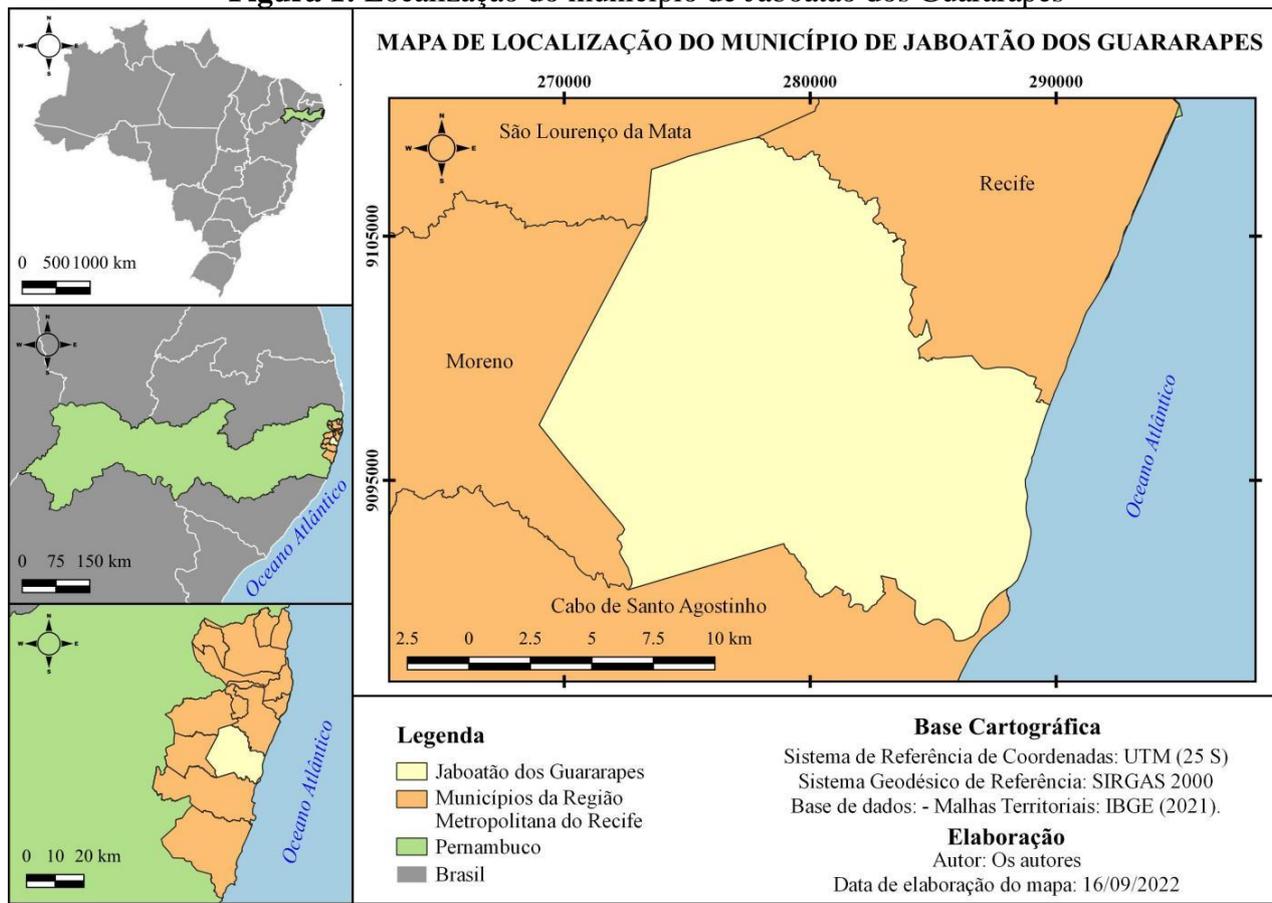
Diante das características físico-naturais e do considerável índice de urbanização apresentados no município de Jaboatão dos Guararapes, o presente estudo buscou mapear as áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações dessa região, utilizando o SIG, aliado a um dos métodos de auxílio à MCDM, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), a fim de contribuir como instrumento para a elaboração de políticas públicas mitigadoras desses tipos de eventos hidrológicos extremos.

## 2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

O município de Jaboatão dos Guararapes está situado na região litorânea do estado de Pernambuco e faz parte da Região Metropolitana do Recife (RMR), estando definido entre as coordenadas UTM 289.903,952mE e 267.017,111mE, e 9.110.053,672mN e 9.088.338,009mN, como mostra a **Figura 1**. Limita-se com Recife ao norte, Moreno a oeste, São Lourenço da Mata a noroeste, Cabo de Santo Agostinho ao sul e com o Oceano Atlântico a leste, ocupando uma área de, aproximadamente, 258,70 km<sup>2</sup>, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022). Jaboatão dos Guararapes está a 16,10 km da capital pernambucana, Recife, e as suas principais vias de acesso são as rodovias BR-101, BR-232, BR-408, PE-007 e PE-008.

Jaboatão dos Guararapes detém o título de segundo município mais populoso do estado de Pernambuco, comportando uma população estimada de 711.330 habitantes, resultando numa densidade demográfica de 2.750 hab/km<sup>2</sup>, sendo essa quantidade de habitantes superada apenas por Recife. De acordo com o IBGE (2022), para os anos de 1991, 2000 e 2010, a população urbana do município já se distanciava consideravelmente da rural, sendo representada por 88,30%, 97,73% e 97,82% dos habitantes, respectivamente. Conforme França *et al.* (2016), grande parte da população urbana ocupa a faixa litorânea do município por residências e comércios, definindo o uso misto para o local.

**Figura 1:** Localização do município de Jaboatão dos Guararapes



**Base cartográfica:** IBGE (2021); elaborado pelos autores (2022).

O município de Jaboatão dos Guararapes está localizado numa região que, segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima tropical úmido (AMS'), possuindo temperatura média anual de 26 °C, mínima de 18 °C e máxima de 32 °C (NÓBREGA; FARIAS, 2016). Conforme dados históricos de precipitação disponibilizados por 15 estações pluviométricas monitoradas pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), o município apresentou índices pluviométricos médios máximo e mínimo mensais de 311,99 mm e 29,00 mm, respectivamente, e média anual de 1.754,84 mm para um período de 18 anos, compreendido entre 1º de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2021. Em Jaboatão dos Guararapes, a precipitação máxima mensal ocorre durante o período de inverno, geralmente, ao longo do mês de junho, podendo atingir, sobretudo em eventos críticos, valores acima do índice pluviométrico médio máximo.

Jaboatão dos Guararapes é interceptado por dois importantes rios pernambucanos, o Jaboatão e o Duas Unas, sendo esse o principal afluente do rio Jaboatão e detentor de uma barragem homônima, cujo manancial abastece parte da RMR. O município compreende as bacias hidrográficas dos rios Jaboatão, Pirapama e Tejió, que integram o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2 – GL2. A bacia do rio Jaboatão, a principal do município, é constituída pelo canal principal, o rio Jaboatão e seus afluentes, os rios Duas Unas, Mussaíba, Macaco, Pixaó, Mangaré e o riacho do Arroz (SILVA; GIRÃO, 2020). A bacia do rio Jaboatão também conta com uma área drenada pela lagoa Olho d'Água, sistema lagunar, com 3,70 km<sup>2</sup> de área, que apresenta ligação com os canais de Setúbal, ao norte, e o Olho d'Água, ao sul, que alimenta a lagoa pelas águas do rio Jaboatão.

A escolha do município de Jaboatão dos Guararapes como região de estudo se deu por possuir características físico-naturais e considerável índice de urbanização, que o condiciona fortemente a apresentar áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Seleção dos fatores condicionantes à suscetibilidade de inundações e alagamentos

Com o propósito de alcançar o objetivo deste estudo, inicialmente, foi realizada uma seleção de fatores condicionantes às inundações e aos alagamentos, pela análise em trinta estudos semelhantes, de níveis nacional e internacional, oriundos do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e que consideraram a aplicação do AHP aliado ao SIG para o mapeamento de áreas suscetíveis a esses tipos de desastres hidrológicos.

A partir dessa análise, 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. Também foi verificada uma significativa quantidade de trabalhos que avaliaram o fator densidade urbana. Devido a essa recorrência, os referidos fatores também foram utilizados neste trabalho e as suas justificativas estão sintetizadas no **Quadro 1**.

**Quadro 1:** Fatores condicionantes à suscetibilidade de inundações e alagamentos e às suas justificativas

Fator	Justificativa
Declividade	A declividade ou a inclinação do terreno é considerada como um parâmetro bastante significativo quanto à suscetibilidade de inundações e alagamentos (ABIDINE; ABDELMANSOUR, 2018; CABRERA; LEE, 2019; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016). Esse parâmetro desempenha um papel importante na determinação do escoamento superficial, da velocidade, da infiltração e das áreas de estagnação das águas precipitadas e/ou fluviais (KARYMBALIS <i>et al.</i> , 2021; OLII <i>et al.</i> , 2021; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016). Regiões planas e levemente inclinadas são mais propensas às inundações e aos alagamentos do que as que apresentam uma inclinação mais íngreme (CABRERA; LEE, 2019; CAMPIOLI; VIEIRA, 2019; KARYMBALIS <i>et al.</i> , 2021).
Hipsometria	A hipsometria de uma região também se configura como um fator importante, determinando as áreas de acumulação da água (OLII; OLII; PAKAYA, 2021). Devido à força da gravidade, a água se desloca dos locais mais altos para os mais baixos, causando inundações (AMAYA <i>et al.</i> , 2021; CAMPIOLI; VIEIRA, 2019; KARYMBALIS <i>et al.</i> , 2021; WAQAS <i>et al.</i> , 2021).
Uso e ocupação do solo	Vários processos hidrológicos, como escoamento superficial, taxa de infiltração e evapotranspiração, bem como a interrelação entre águas superficiais e subterrâneas, são significativamente determinadas pelo padrão de uso e ocupação do solo de uma região (KARYMBALIS <i>et al.</i> , 2021). As regiões vegetadas apresentam baixo potencial de inundação, devido à capacidade de reter a água por mais tempo e aumentar a infiltração, enquanto as áreas urbanas, que são, na sua maioria, constituídas por superfícies impermeáveis e solos expostos, tendem a aumentar o escoamento superficial e a reduzir a taxa de infiltração (OLII; OLII; PAKAYA, 2021; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016).
Pedologia	O tipo de solo é um fator significativo na determinação das características de infiltração e escoamento superficial da água de uma área, conseqüentemente, intervindo na suscetibilidade de inundações e alagamentos (CABRERA; LEE, 2019; CAMPIOLI; VIEIRA, 2019). Isso significa que áreas compostas por solos argilosos, bem como os solos compactados superficialmente, produzem maior escoamento superficial, enquanto áreas de solos arenosos são propícias à infiltração e percolação (CAMPIOLI; VIEIRA, 2019; WAQAS <i>et al.</i> , 2021).

(Continua)

**Quadro 1:** Fatores condicionantes à suscetibilidade de inundações e alagamentos e suas justificativas

(Conclusão)

Fator	Justificativa
Distância entre corpos hídricos	Eventos extremos de precipitação, muitas vezes, causam um rápido aumento do nível do corpo hídrico, levando a um transbordamento da água e consequentes inundações das áreas ribeirinhas (KARYMBALIS <i>et al.</i> , 2021). Assim, as áreas mais afetadas durante as inundações são aquelas próximas aos corpos hídricos (ABIDINE; ABDELMANSOUR, 2018; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016; WAQAS <i>et al.</i> , 2021).
Índices de precipitação	Segundo Rincón, Khan e Armenakis (2018), a precipitação é a principal causa das cheias dos rios, uma vez que eventos extremos acarretam inundações quando os canais não têm mais a capacidade de transportar a água em excesso. Além disso, uma maior intensidade de chuva pode resultar numa maior quantidade de escoamento porque o solo não consegue absorver rapidamente a água (CABRERA; LEE, 2019). Portanto, maiores índices de precipitação levam a maior suscetibilidade de inundações e alagamentos (AMAYA <i>et al.</i> , 2021; WAQAS <i>et al.</i> , 2021).
Densidade urbana	De acordo com Rudniak, Oliveira Filho e Andrade (2019), áreas com maiores níveis de urbanização, consequentemente mais impermeabilizadas, tendem a acumular mais água na superfície, aumentando a suscetibilidade às inundações e aos alagamentos.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2022).

Apesar da variada quantidade de fatores apresentada, vale salientar que alguns outros também foram utilizados em estudo semelhantes, porém não apresentaram grande reincidência, como a densidade de drenagem, a geologia, a hierarquia fluvial, o fluxo acumulado de água, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o CN (*Curve Number*). Esses fatores não foram considerados para este trabalho, por não apresentarem uma grande relevância na análise. De modo geral, estudos sobre mapeamento de áreas suscetíveis às inundações e ao alagamento são realizados em função do objetivo deste trabalho, do método adotado e do foco da aplicação, podendo compreender atributos ambientais, físicos e socioeconômicos da região em estudo, bem como dos dados das redes de macro e microdrenagem.

### 3.2. Coleta e tratamento dos dados espaciais para a elaboração dos mapas temáticos

Os dados espaciais utilizados para a elaboração dos mapas dos fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações e alagamentos foram adquiridos junto a órgãos oficiais, de maneira presencial ou pelas suas respectivas plataformas virtuais. Os métodos como esses mapas foram confeccionados e estão indicados no **Quadro 2**.

**Quadro 2:** Fontes de obtenção dos dados espaciais e métodos para elaboração dos mapas temáticos

Mapa	Fonte dos dados e métodos
Declividade	Obtido na forma matricial ( <i>raster</i> ) pela plataforma virtual do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), com resolução espacial de 30 metros, as declividades apresentadas no mapa foram expressas em porcentagem e agrupadas em seis classes, conforme classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).
Hipsométrico	Confeccionado a partir de Modelo Digital do Terreno (MDT), oriundo do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), na forma matricial ( <i>raster</i> ), e com uma resolução espacial de 30 metros, as cotas altimétricas, representadas em metros e apresentadas no mapa, foram agrupadas em dez classes. Para isso, foi utilizada a função “Reclassificar por tabela” da caixa de ferramentas do QGIS.

(Continua)

**Quadro 2:** Fontes de obtenção dos dados espaciais e métodos para elaboração dos mapas temáticos (Conclusão)

Mapa	Fonte dos dados e métodos
Uso e ocupação do solo	Obtido pela plataforma virtual do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas), o arquivo foi oriundo da Coleção 6, no formato <i>raster</i> e com resolução espacial de 30 metros. As classes de uso e ocupação do solo utilizadas foram: área agrícola, área artificial, corpo hídrico, mangue, vegetação campestre e vegetação florestal.
Pedológico	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 do município de Jaboatão dos Guararapes.
Distância entre corpos hídricos	Os dados espaciais relativos à hidrografia foram disponibilizados pela PMJG no formato vetorial. A partir dessa camada, foram gerados <i>buffers</i> , obedecendo os afastamentos determinados na etapa de reclassificação desse fator.
Variabilidade espacial de precipitação	Foram utilizados dados mensais de chuva provenientes de 15 estações pluviométricas e correspondentes ao período de 1º de janeiro de 2004 a 31 de dezembro de 2021, sendo as informações de quatro dessas estações disponíveis na plataforma da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e as demais, na do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Diante dessa série histórica, foi verificado que algumas estações pluviométricas apresentavam dados completos, enquanto outras traziam lacunas. Para o complemento da ausência desses dados, foi adotado o método da ponderação regional, cuja obtenção dos dados estimados é realizada a partir das medições de pelo menos três estações que se localizem em uma região climática semelhante à estação a ser complementada. Após o tratamento dos dados pluviométricos, foi utilizado o método de Thiessen para a obtenção da precipitação média anual de cada estação. Em seguida, foi usada a ferramenta “Interpolação IDW”, no QGIS, para elaborar o mapa da variabilidade espacial da precipitação do município de Jaboatão dos Guararapes.
Densidade urbana	Disponibilizado pela PMJG, no formato vetorial.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2022).

Todos esses dados espaciais foram manipulados no *software* QGIS (versão 3.10.9), em coordenadas UTM e no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

### 3.3. Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade às inundações e aos alagamentos

Para a realização dessa etapa, os dados espaciais quanto aos fatores condicionantes a inundações e alagamentos foram reclassificados segundo um processo distinto de atribuição de notas para a aplicação do AHP. As notas atribuídas variaram numa escala entre 1 e 10, em que o valor 1 representa as áreas menos suscetíveis, ou seja, isentas à ocorrência de inundações e alagamentos e 10, as mais suscetíveis.

O **Quadro 3** apresenta os critérios (classes ou distâncias) dos fatores reclassificados quanto às notas atribuídas às condições de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes.

**Quadro 3:** Reclassificação dos critérios dos fatores, conforme a suscetibilidade às inundações e aos alagamentos

Fatores	Classes / Distâncias	Notas	Fatores	Classes / Distâncias	Notas	
Declividade (%)	0 – 3	10	Pedologia	Área Urbana	10	
	3 – 8	9		Água	10	
	8 – 20	5		Solos de mangue	9	
	20 – 45	3		Gleissolos	7	
Hipsometria (m)	0 – 5	10		Argissolos	7	
	5 – 10	9		Espodossolos	7	
	10 – 15	8		Neossolos	4	
	15 – 20	7		Latossolos	1	
	20 – 35	6		Corpos hídricos (m)	0 – 100	10
	35 – 50	5			100 – 300	8
	50 – 75	4	300 – 500		6	
	75 – 100	3	500 – 1.000		4	
100 – 175	2	> 1.000	1			
175 – 250	1	Precipitação média anual (mm)	1.550 – 1.600	1		
Uso e ocupação do solo	Área artificial		10	1.600 – 1.700	3	
	Corpo hídrico		10	1.700 – 1.800	5	
	Mangue		9	1.800 – 1.900	7	
	Área agrícola		7	1.900 – 2.000	9	
	Vegetação campestre		3	2.000 – 2.100	10	
	Vegetação florestal	1	Densidade urbana	Ocupação urbana	10	
			Demais áreas	1		

**Fonte:** Elaborado pelos autores, a partir de revisão de literatura (2022).

Para realizar a reclassificação, conforme as notas apresentadas no **Quadro 3**, foi utilizada a ferramenta “Reclassificar por tabela” da caixa de ferramentas do QGIS. Vale ressaltar que os dados espaciais de representação vetorial foram convertidos para a matricial, para que fosse possível realizar esse tipo de procedimento.

### 3.4. Aplicação do AHP

O método proposto para a análise das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes teve como embasamento a aplicação do AHP, que se trata de um método de auxílio à MCDM, desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970. O AHP é compreendido por uma metodologia voltada à hierarquização de múltiplos critérios representativos de um problema, organizados em níveis de abstração ou detalhamento, que permite a integração entre critérios qualitativos e quantitativos (GUEDES *et al.*, 2021; SCHMIDT; BARBOSA, 2016; TEDESCO; OLIVEIRA; TROJAN, 2021).

Dentre as maiores vantagens desse método está o fato de proporcionar ao tomador de decisões a atribuição de pesos relativos para múltiplos critérios, de modo intuitivo, ao mesmo tempo em que é realizada uma comparação par a par entre eles, possibilitando organizar e avaliar a importância relativa de cada critério e medir a consistência dos julgamentos (RIBEIRO *et al.*, 2016; SILVEIRA; HIKICHI; SALGADO, 2016). Por outro lado, o elevado número de comparações a serem realizadas pode ser considerado como uma desvantagem da aplicação do AHP, o que é contornado pela utilização de *softwares* específicos ou até mesmo simples planilhas.

Aplicando o AHP, foi gerada uma escala de importância pelos pesos atribuídos aos fatores avaliados, uma vez que cada um deles possui relativa importância quanto à suscetibilidade às inundações e aos alagamentos. Para isso, inicialmente, os fatores foram estruturados numa Matriz de

Comparação Pareada, como apresenta o **Quadro 4**, em que os seus pesos foram atribuídos conforme os critérios de importância da Escala Fundamental de Saaty (**Quadro 5**), cujos valores variam de um a nove.

**Quadro 4:** Matriz de Comparação Pareada

Fator	fator 1	...	fator p	...	fator m
fator 1	1	...	$a_{1p}$	...	$a_{1m}$
...	...	...	...	...	...
fator p	$a_{p1}$	...	1	...	$a_{pm}$
...	...	...	...	...	...
fator m	$a_{m1}$	...	$a_{mp}$	...	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

**Quadro 5:** Escala de julgamento de importância do método AHP

Valores	Descrição da importância	Justificativa
1	Igual	Os dois parâmetros contribuem equitativamente.
3	Moderada	O parâmetro comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	Essencial ou forte	Julgamento favorecendo fortemente um parâmetro sobre o outro.
7	Muito forte	Um parâmetro é fortemente favorecido, com demonstração na prática.
9	Extrema	O parâmetro comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2, 4, 6, 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, como apresenta o **Quadro 6**, em que cada elemento desse vetor indica a importância relativa de cada fator, quando comparado aos demais.

**Quadro 6:** Escala de julgamento de importância do método AHP

Fator	fator 1	...	fator p	...	fator m	auto-vetor	Pesos
fator 1	1	...	$a_{1p}$	...	$a_{1m}$	$\overline{g}_1 = \sqrt[m]{a_{11} * \dots * a_{1p} * \dots * a_{1m}}$	$\omega_1 = \frac{\overline{g}_1}{S}$
...	...	...	...	...	...	...	...
fator p	$a_{p1}$	...	1	...	$a_{pm}$	$\overline{g}_p = \sqrt[m]{a_{p1} * \dots * a_{pp} * \dots * a_{pm}}$	$\omega_p = \frac{\overline{g}_p}{S}$
...	...	...	...	...	...	...	...
fator m	$a_{m1}$	...	$a_{mp}$	...	1	$\overline{g}_m = \sqrt[m]{a_{m1} * \dots * a_{mp} * \dots * a_{mm}}$	$\omega_m = \frac{\overline{g}_m}{S}$
Soma ( $\omega S$ )	$\sum_{p=1}^m a_{p1}$	...	$\sum_{p=1}^m a_{pp}$	...	$\sum_{p=1}^m a_{pm}$	$S = \sum_{p=1}^m \overline{g}_p$	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em seguida, foi preciso verificar a consistência dos resultados obtidos, segundo critérios determinados por Saaty (1977). Essa verificação foi realizada pela obtenção do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC). Para o cálculo do IC foi utilizada a **Equação 1**.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - m}{m - 1} \quad (1)$$

Em que  $m$  é o número de fatores utilizados na Matriz de Comparação Pareada e  $\lambda_{\text{máx}}$  é o Autovalor máximo, que é obtido conforme a **Equação 2**.

$$\lambda_{\text{máx}} = \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{p=1}^m \frac{\omega_{Sp}}{\omega_p} \quad (2)$$

Em que  $\sum_{p=1}^m \frac{\omega_{Sp}}{\omega_p}$  é o Vetor Coerência (C),  $\omega_p$  é o Coeficiente de Ponderação (peso) e  $\omega_{Sp}$  é o Vetor Soma, ambos obtidos de acordo com o **Quadro 5**.

Por fim, para a obtenção da RC (**Equação 3**) foi necessário utilizar os valores do Índice de Consistência e do Índice Randômico (IR), que varia com a quantidade “ $m$ ” de parâmetros estabelecidos na Matriz de Comparação Pareada. Saaty (1987) propôs uma tabela com os IR’s de matrizes de ordem 1 a 10, demonstrados em laboratório, como apresenta a **Tabela 1**. Para este estudo, que foram utilizados 7 fatores, o valor adotado para o IR foi de 1,32.

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

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

**Tabela 1:** Índices Randômicos (IR).

<b>m</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987).

Segundo Saaty (1987), caso a RC seja menor ou igual a 10%, os julgamentos obtidos são consistentes.

### 3.5. Utilização de Álgebra de Mapas e elaboração do mapa de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos

Para essa etapa foram realizadas operações aritméticas utilizando a “Calculadora *Raster*” do QGIS, na qual os dados matriciais reclassificados dos fatores de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos reclassificados foram associados com os pesos estabelecidos pelo AHP. Como subsídio para essa etapa, foi utilizado o modelo matemático apresentado na **Equação 4**.

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

Em que  $M$  representa o mapa de suscetibilidade à inundações e alagamentos,  $D$  é a declividade,  $H$  é a hipsometria,  $O$  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,  $U$  é a densidade urbana e  $\omega$  é o peso do respectivo fator (obtido pelo AHP).

Por fim, o arquivo gerado a partir 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 e alagamentos considerada como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

### 3.6. Verificação da eficiência do mapa de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos

A fim de verificar a eficiência do método empregado, o mapa de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos foi comparado com registros reais desses desastres hidrológicos ocorridos na região estudada para um recorte temporal de nove anos, compreendido entre 2013 e 2022, levantados por visitas *in loco* e a partir de informações adquiridas junto a redes sociais, *sites* de notícias e a Superintendência de Defesa Civil do Município de Jaboatão dos Guararapes.

Os registros fotográficos extraídos *in loco* foram levantados pela evidência de episódios de alagamentos ocorridos no município de Jaboatão dos Guararapes, resultantes de intensos eventos de precipitação. Os registros adquiridos pelas redes sociais e *sites* de notícias foram obtidos pela busca em navegadores de *internet*, a partir dos *strings* “alagamentos”, “inundações” e “Jaboatão dos Guararapes” e os obtidos pela Superintendência de Defesa Civil do Município de Jaboatão dos Guararapes foram disponibilizados em resposta a uma solicitação, por imagens de ocorrências de desastres hidrológicos, realizada por mensagem eletrônica.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

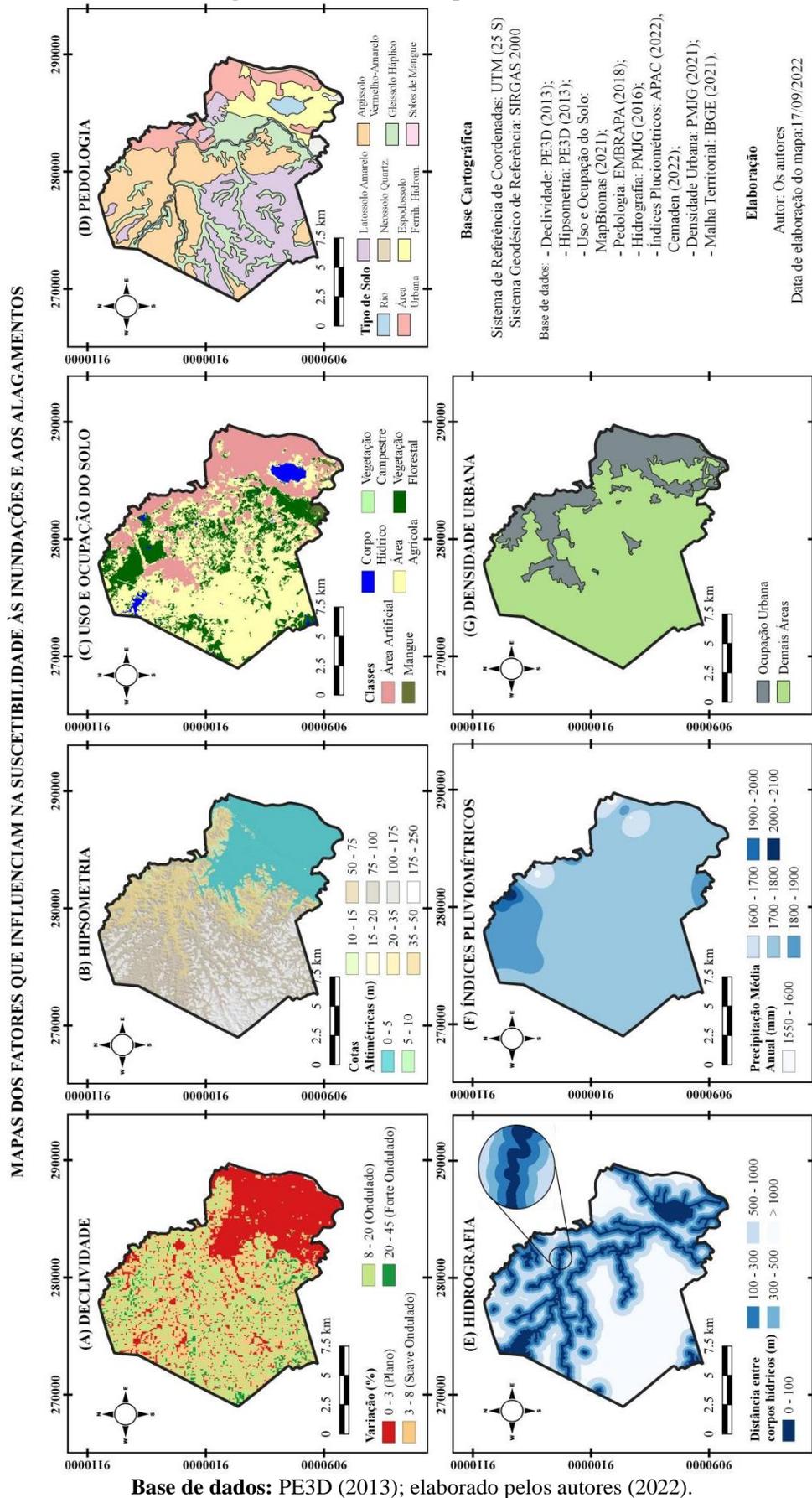
Pela utilização do SIG foi possível estabelecer os mapas que representam o comportamento do município de Jaboatão dos Guararapes quanto aos fatores de suscetibilidade à inundação e alagamentos elencados neste estudo, como apresenta a **Figura 2**. São eles: declividade (A), hipsometria (B), uso e ocupação do solo (C), pedologia (D), hidrografia (E), índices pluviométricos (F) e densidade urbana (G).

Analisando a supracitada figura, é possível observar que, quanto à topografia do município, há um predomínio de declividades e cotas altimétricas baixas na região costeira. No entanto, os valores altimétricos vão se elevando gradativamente em direção à porção oeste, onde também é possível constatar formações de relevos ondulados. As áreas de ocupação urbana prevalecem na parte leste de Jaboatão dos Guararapes, sobretudo na região costeira. Também é possível constatar essa classe de uso do solo na parte centro-norte, que define a região da antiga cidade-sede do município, como também na parte nordeste, que representa áreas conurbadas com bairros da cidade do Recife. As áreas a oeste e a sudoeste são, na sua maioria, representadas por áreas agrícolas, sobretudo por pastagem e plantações de cana-de-açúcar. A vegetação florestal pode ser constatada pelas Reserva Ecológica de Manassu e Matas de Mussaíba e Jangadinha, ao norte, pela Reserva Natural Fazenda Santa Beatriz do Carnijó, a oeste, pela Reserva Ecológica do Sistema Gurjaú, a sudoeste, e pelas vegetações ripárias no entorno do rio Jaboatão, ao sul.

Em relação à pedologia, os solos argilosos, que são solos mais impermeáveis, são os que mais representam o município, enquanto os mais permeáveis são identificados em menor quantidade, sobretudo na parte sudeste da região. Os corpos hídricos estão presentes em grande parte de Jaboatão dos Guararapes, com destaque para o rio Jaboatão, que começa a integrar o município na sua parte oeste e tem o seu exutório ao sul, especificamente na praia de Barra de Jangada. A presença da lagoa Olho D'Água, situada numa região predominantemente urbana, também é bastante relevante. Acerca da variabilidade da precipitação anual, os índices pluviométricos compreendidos entre 1.700 mm e 1.800 mm são os mais incidentes no município, abrangendo-o em todas as regiões.

A Matriz de Comparação Pareada desenvolvida para o estudo do mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, foi construída de acordo com o que se apresenta no **Quadro 6**. Analisando a referida matriz foi constatado que, conforme os valores dos pesos, o indicador referente a distância entre corpos hídricos foi definido como o mais importante e a pedologia como o menos importante.

**Figura 2:** Representação dos fatores que influenciam na suscetibilidade às inundações e aos alagamentos elencados para este estudo



**Quadro 6:** Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos fatores que influenciam na suscetibilidade às inundações e aos alagamentos elencados para este estudo

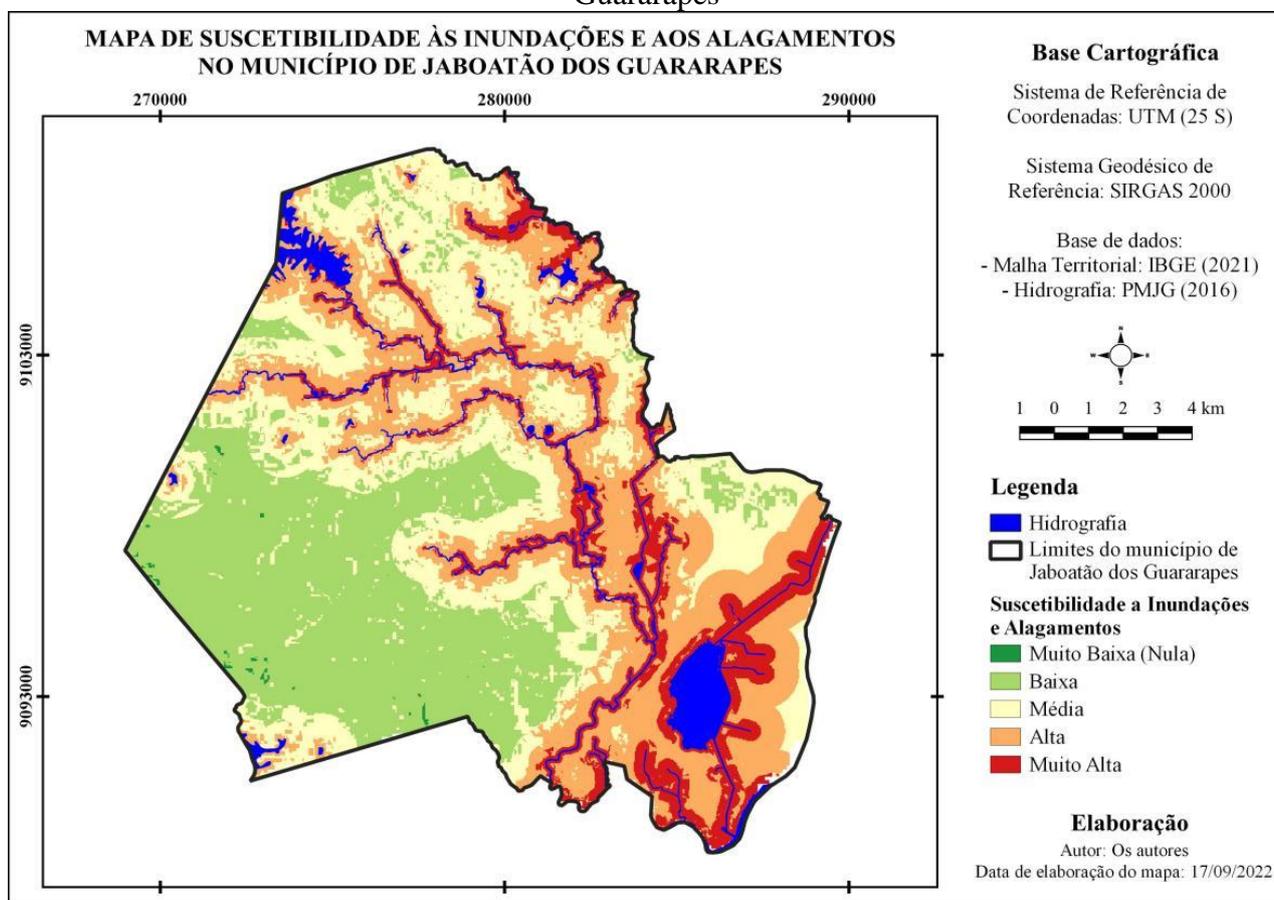
Fator	A	B	C	D	E	F	G	Pesos
Declividade (A)	1	3	4	5	1/3	3	4	0,2138
Hipsometria (B)	1/3	1	3	4	1/5	3	3	0,1295
Uso e ocupação do solo (C)	1/4	1/3	1	3	1/7	1/3	2	0,0573
Pedologia (D)	1/5	1/4	1/3	1	1/9	1/3	1/3	0,0290
Dist. de corpos hídricos (E)	3	5	7	9	1	5	7	0,4322
Índices pluviométricos (F)	1/3	1/3	3	3	1/5	1	3	0,0908
Densidade urbana (G)	1/4	1/3	1/2	3	1/7	1/3	1	0,0470

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Após a obtenção dos valores ponderados na Matriz de Comparação Pareada e do cálculo dos pesos para cada parâmetro, foi preciso verificar a consistência desses resultados. Nessa análise, foi obtido um IC igual 0,0712 e uma RC igual a 5,3973%. Pelo valor da RC ser abaixo de 10%, as comparações realizadas foram coerentes e produziram resultados confiáveis, conforme ressalta Saaty (1987).

Por fim, foi possível elaborar o modelo matemático para a produção do mapa de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos no município do Jaboatão dos Guararapes, que se apresenta a seguir:  $M = 0,2138 * D + 0,1295 * H + 0,0573 * O + 0,0290 * S + 0,4322 * A + 0,0908 * P + 0,0470 * U$ , o qual foi submetido à álgebra de mapas no ambiente SIG, sendo gerado o mapa representado pela **Figura 3**.

**Figura 3:** Mapa de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes



Base de dados: PE3D (2013); elaborado pelos autores (2022).

Ainda com auxílio do SIG, foi possível classificar, em termos percentuais, a proporção das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes, o que pode ser verificado na **Tabela 2**.

**Tabela 2:** Proporção das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes

Suscetibilidade	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Muito Baixa	0,3516	0,1368
Baixa	76,2000	29,6430
Média	69,5512	27,0565
Alta	74,6291	29,0319
Muito Alta	36,3271	14,1318
Total	257,0590	100,0000

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Analisando a região mapeada, pode ser observado que as áreas mais suscetíveis, ou seja, as de alta e muito alta propensão às inundações e aos alagamentos, configuram-se como parte significativa do município de Jaboatão dos Guararapes, sendo dominantes na região costeira e nas porções nordeste e centro-norte, somando uma área de 110,9562 km<sup>2</sup>, que representa 43,1637% da região do estudo. Isso se deve, principalmente, por essas regiões estarem próximas a corpos hídricos e abrangerem centros urbanos, além de apresentarem declividades menores ou iguais a 3,00%.

Também foi verificado que as áreas menos suscetíveis às inundações e aos alagamentos representam 29,7798% da área total da área mapeada e estão localizadas na porção sudoeste da região do estudo, coincidindo com a zona rural do município. Essas áreas se encontram distantes de corpos hídricos, como também apresentam áreas agrícolas, elevadas cotas altimétricas e declividades entre 3,00% e 45,00%.

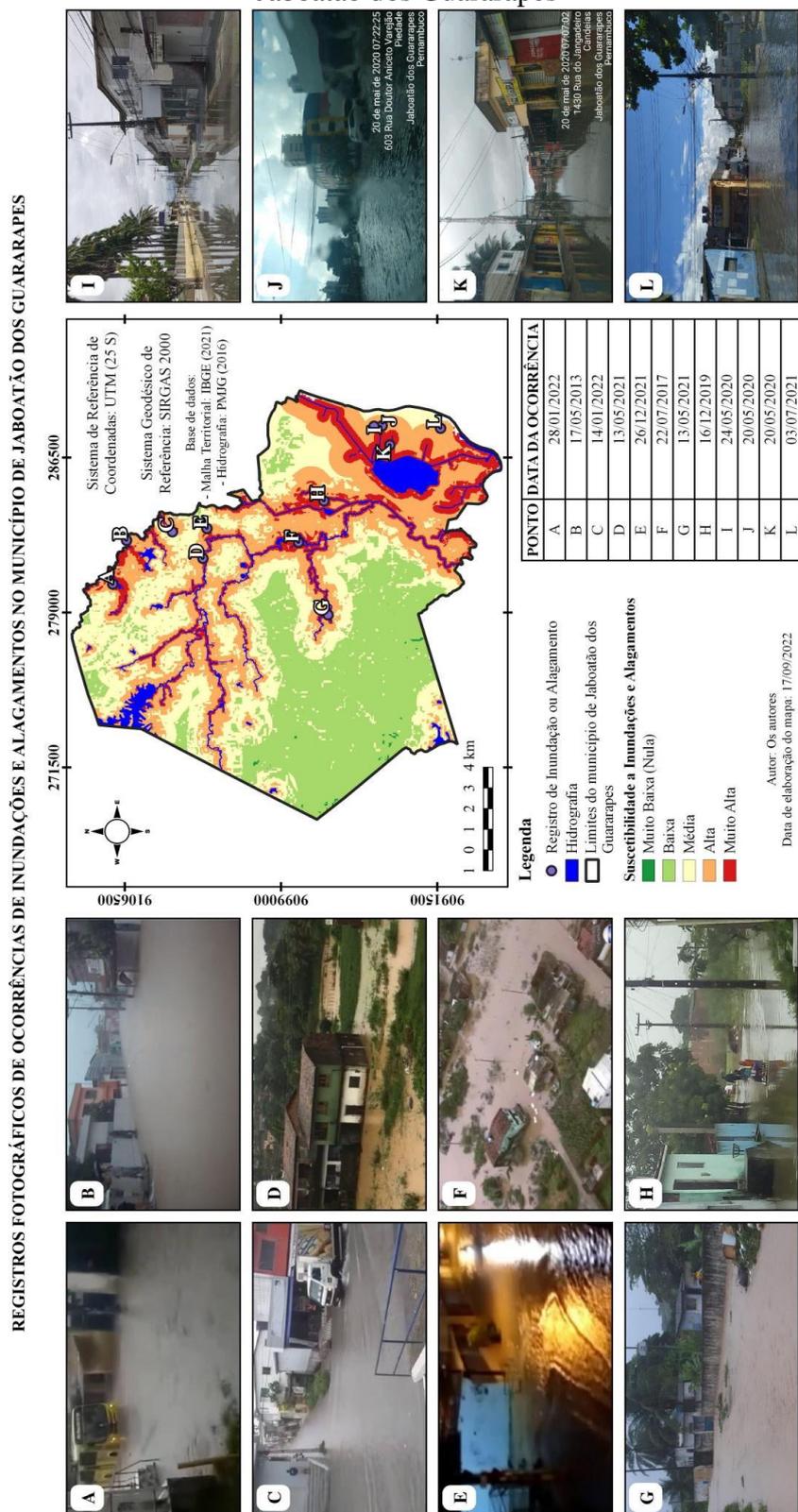
Ratificando esses resultados, os trabalhos realizados por França *et al.* (2016) e Nóbrega e Farias (2016), que identificou as áreas inundáveis e analisou a variabilidade da precipitação do município de Jaboatão dos Guararapes, respectivamente, apresentaram as constatações supracitadas. Resultados semelhantes também podem ser conferidos no Geoportal do CPRM, que se configura como uma plataforma interativa que reúne informações sobre regiões com altos riscos de inundações, além de outros tipos de desastres em mais de 1.600 municípios brasileiros.

Em estudos análogos foi possível constatar resultados similares aos deste trabalho, como em Seejata *et al.* (2018), que verificaram que as áreas de maiores risco de inundação na província de Sukhothai, na Tailândia, são as consideravelmente planas, de baixa elevação e que estão nas proximidades de dois afluentes do rio Yom, principal corpo hídrico da região. De modo semelhante, Karymbalys *et al.* (2021) constataram que as zonas de alta e muito alta suscetibilidade às inundações na bacia hidrográfica do rio Megalo Rema, na Grécia, são as que apresentam baixas declividades (<3,50%) e estão situadas em áreas urbanas, sobretudo na várzea do rio principal ou de seus afluentes.

Em nível nacional, Campioli e Vieira (2019) revelaram que as zonas com grau de risco de inundação muito alto ocorrem nas regiões urbanas adensadas e de menores altitudes e declividade da bacia do rio Cubatão do Norte, em Santa Catarina. Para o município de Juazeiro do Norte, no Ceará, Palácio *et al.* (2021) evidenciaram que 17,00% do território apresenta alta propensão a alagamentos, sobretudo quanto à sua área urbana e às pequenas porções rurais de baixa declividade.

Para asseverar as constatações encontradas neste estudo, foi realizada uma busca de informações sobre alagamentos e inundações no município de Jaboatão dos Guararapes, junto a redes sociais, *sites* de notícias e a Superintendência de Defesa Civil e por visitas *in loco*. No total, foram levantados 12 registros fotográficos, apresentados na **Figura 4**, os quais representam episódios de inundações ou alagamentos ocorridos nas áreas de maiores suscetibilidade, conforme o mapeamento realizado neste estudo. Todas essas verificações endossam a eficácia do AHP, demonstrando o nível de precisão desse método.

**Figura 4:** Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes



**Legenda:** (A) Avenida Um - Curado IV; (B) Rua Tomaz Lima - Cavaleiro; (C) Avenida Agamenon Magalhães - Cavaleiro; (D) Rua Vinte e Um de Fevereiro - Socorro; (E) Avenida Carneiro Leão - Dois Carneiros; (F) Loteamento Integração Muribeca - Marcos Freire; (G) Rua Praias de Fortaleza - Muribeca; (H) Rua Pau Brasil - Muribeca; (I) Avenida Nossa Senhora do Loreto - Piedade; (J) Rua Doutor Aniceto Varejão - Piedade; (K) Rua Caracol - Candeias; (L) Rua Capitão Médico Osias Ribeiro - Barra de Jangada.

**Base de dados:** PE3D (2013); elaborado pelos autores (2022).

Conforme Karymbalys *et al.* (2021), uma alternativa para a validação de um mapeamento quanto ao risco de inundação é a partir da comparação de resultados produzidos pela aplicação do modelo hidrodinâmico HEC-RAS. Nessa perspectiva, Rahmati, Zeinivand e Besharat (2016) identificaram, utilizando o AHP, as zonas de risco de inundações do rio Yasooj, em Ysuj, cidade do Irã, e compararam os resultados com uma simulação de inundação produzida a partir do modelo HEC-RAS. Após a validação dos resultados, os autores mostraram que a técnica AHP é promissora para fazer previsões precisas e confiáveis para a extensão das inundações.

## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo realizar o mapeamento das áreas de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco. A metodologia proposta para elaboração desse mapeamento foi baseada na tecnologia do SIG aliada ao AHP e levou em consideração diversos fatores condicionantes aos referidos desastres hidrológicos, como a declividade, a hipsometria, o uso e ocupação do solo, a pedologia, a distância entre corpos hídricos, os índices de precipitação e a densidade urbana.

Pelos resultados, foi possível demonstrar que as regiões que apresentam maiores propensões às inundações e aos alagamentos abrangem, aproximadamente, 111,00 km<sup>2</sup> do território municipal, o que corresponde a 43,17% da área total estudada. Essas regiões são as que possuem uma distinta combinação de fatores associados, sobretudo, à proximidade aos corpos hídricos, às baixas declividades e altitudes, fortes índices de urbanização e solos com baixa capacidade de infiltração. Ainda de acordo com os resultados produzidos, 27,06%, 29,64% e 0,14% do território municipal representam, respectivamente, as regiões de média, baixa e muito baixa suscetibilidade a inundações e alagamentos, sendo conferidas, principalmente, na área rural, nas porções de maiores declividades e altitudes e de vegetação florestal.

A utilização dessa técnica quanto ao mapeamento de áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos se constitui como uma alternativa vantajosa quanto à aplicabilidade e viabilidade, permitindo tomadas de decisões por gestores e/ou profissionais da área. Essa vantagem se deve, sobretudo, ao baixo custo e à fácil manipulação dos dados, possibilitando uma grande variedade de aplicações em que outros fatores podem ser considerados, principalmente em locais em que o acesso é deficitário.

Apesar da grande eficácia da metodologia aplicada neste estudo, sendo comprovada por registros reais de episódios de inundações e alagamentos ocorridos na região estudada, caso seja necessária uma maior precisão dos resultados, recomenda-se a consideração de outros fatores que não foram incluídos neste trabalho, tais como: a densidade de drenagem, a geologia, a hierarquia fluvial, o fluxo acumulado de água, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), o CN (*Curve Number*), entre outros aspectos.

Enfim, destaca-se a importância da elaboração de estudos geoambientais com o intuito de subsidiar um planejamento ambiental e urbano, visando o uso ordenado da terra, de forma a mitigar ou reduzir a ocorrência de desastres de natureza hidrológica ou de qualquer outra ordem.

## REFERÊNCIAS

ABDELKARIM, A.; AL-ALOLA, S. S.; ALOGAYELL, H. M.; MOHAMED, S. A.; ALKADI, I. I.; ISMAIL, I. Y. 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**, v. 12, n. 6, p. 1702, 2020.

ABIDINE, R. Z.; ABDELMANSOUR, N. 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**, v. 3, n. 1., p. 67-73, 2018.

ALVES, P. B. R.; MELO FILHO, H.; TSUYUGUCHI, B. B.; RUFINO, I. A. A.; FEITOSA, P. H. C. Mapping of flood susceptibility in Campina Grande county – PB: A spatial multicriteria approach. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 24, n. 1, p. 28-43, 2018.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. *In*: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, p. 39-52, 2015.

AMAYA, A.; NTOUMBÉ, M.; DIGUIM, A. K.; KAH, E. 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**, v. 33, n. 3, p. 491-501, 2021.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento Pluviométrico**. 2022. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 30 jan. 2022.

BADARAU, M. S.; LISTO, F. L. R. Análise de riscos a inundações no bairro Maranguape I, Paulista - PE. *In*: LISTO, F. de L. R. (Org.). **Retratos da Geografia: olhares através das geotecnologias**. Recife: MapGeo, 2020. p. 63-71.

BEGA, J. M. M.; RIBEIRO, N. U. F.; LIMA, C. G. R. Suscetibilidade a enchentes: estudo de caso na microbacia hidrográfica do Córrego da Onça em Três Lagoas - MS. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 3, p. 33-44, 2019.

BRAGA, S. E.; WANDERLEY, R. A.; HOLANDA, T. F.; CALDAS, A. M. Aplicação da Análise Hierárquica para mapeamento de risco de inundações: O caso no município de Limoeiro (Pernambuco - Brasil). **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 1, p. 57-66, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Cartilha de orientação à população no período de alerta de chuvas intensas**. Brasília, 2017.

CABRERA, J. S.; LEE, H. S. Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: A Case Study in Davao Oriental, Philippines. **Water**, v. 11, n. 11, p. 2203, 2019.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do risco a inundações na Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 124-138, 2019.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Mapa interativo da rede observacional para monitoramento de risco de desastres naturais do Cemaden**. 2022. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa de Declividade em Percentual do Relevo Brasileiro**. 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Mapa-de-Declividade-em-Percentual-do-Relevo-Brasileiro-3497.html>. Acesso em: 17 set. 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil**. 2018. Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104). Acesso em: 17 set. 2022.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Boletim de Geografia**, v. 40, p. 277-296, e63948, 16 dez. 2022.

---

FONSECA NETO, G. C.; SILVA JUNIOR, M. A. B.; RODRIGUES, A. B.; RIBEIRO NETO, A.; CABRAL, J. J. S. P. Modelagem bidimensional para a verificação hidráulica da canalização de um trecho do rio Fragoso em Olinda (Pernambuco, Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2963-2977, 2020.

FRANÇA, R. S.; GIRÃO, O.; MIRANDA, M. R. B.; RAFAEL, L. M. Identificação de áreas inundáveis no município de Jaboatão dos Guararapes – Região Metropolitana do Recife/PE. **OKARA: Geografia em debate**, v. 9, n. 3, p. 3-22, 2016.

FREITAS, R. B.; ROBAINA, L. E. S. Estudo e cadastro de zonas de risco de inundação na área urbana do município de Restinga Sêca-RS. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 85-105, 2019.

FRUTUOSO, G. K. C.; GRIGIO, A. M.; BARROS, T. C. A. N. Inundações urbanas: um olhar para o planejamento urbano na revisão do plano diretor de Assú – RN, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 61, p. 118-134, 2020.

GOULART, L. P.; MATSUOKA, J. V. Análise das áreas suscetíveis à alagamentos e inundações na área urbana do município de Uberlândia – MG utilizando geoprocessamento e o Método de Análise Hierárquica AHP. **GETEC**, v.10, n. 34, p. 21-44, 2021.

GUEDES, F. L.; EL-DEIR, S. G.; JUCÁ, J. F. T.; LIMA, I. L. P. Multi criteria analysis for prioritizing the energy use of urban solid waste as a fuel in Paulista-PE. **Production**, n. 31, e20210071, p. 1-13, 2021.

HOLANDA, M. A. C. R.; OLIVEIRA, D. B. C.; SOARES, W. A.; SILVA, S. R. Analysis of the viability of implementing sustainable proposals to reduce tunnel flooding in Recife, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1904-1913, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas territoriais**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 17 set. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades: Jaboatão dos Guararapes**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaboatao-dos-guararapes/panorama>. Acesso em: 14 fev. 2022.

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

LEAL, F. C. B. S.; BARBOSA, I. M. B. R.; AQUINO, J. T. 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**, v. 9, n. esp, p. 20-40, 2020.

LIMA, D. F.; SOUSA JUNIOR, A. M.; LIMA JUNIOR, F. O.; QUEIROZ, J. H. M. Expansão urbana de São Miguel/RN: Análise no recorte temporal de 2000 a 2017. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 182-200, 2021.

MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá – SP utilizando Método de Análise Hierárquica. **Leopoldianum**, v. 45, n. 126, p. 69-85, 2019.

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Coleções MapBiomias**. 2021. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 17 set. 2022.

MORE. **Mecanismo online para referências, versão 2.0**. Florianópolis: UFSC: Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 23 nov 2022.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L. Eventos extremos pluviais em Jaboatão dos Guararapes: Climatologia e estudo de caso. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, v. especial, p. 70-82, 2016.

OLII, M. R.; OLII, A.; PAKAYA, R. The integrated spatial assessment of the flood hazard using AHP-GIS: The case study of Gorontalo Regency. **The Indonesian Journal of geography**, v. 53, n. 1, p. 126-135, 2021.

PALÁCIO, O. D.; OLIVEIRA, C. W.; MEIRELES, A. C. M.; SOUZA JÚNIOR, T. G. Análise da susceptibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2204-2219, 2021.

PE3D - Projeto Pernambuco Tridimensional. **Mapeamento do Território Pernambucano**. 2013. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php>. Acesso em: 17 set. 2022.

PEREIRA, A.; FERREIRA, R. Educação ambiental e a importância da utilização dos resíduos urbanos no Município de Jaboatão dos Guararapes/PE. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 66-80, 2013.

RAMALHO, L. S.; OLIVEIRA, E. S.; DOURADO, M. V. S. Utilização de técnicas de geoprocessamento para mapeamento de áreas susceptíveis à inundações e alagamentos na cidade de Formosa - Goiás. **Boletim de Geografia**, v. 35, n. 2, p. 63-82, 2017.

RAHMATI, O.; ZEINIVAND, H.; BESHARAT, M. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, n. 3, p. 1000-1017, 2016.

RIBEIRO, A. S.; MINCATO, R. L.; CURI, N.; KAWAKUBO, F. S. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 16-31, 2016.

RINCÓN, D.; KHAN, U. T.; ARMENAKIS, C. Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A Greater Toronto area case study. **Geosciences**, v. 8, n. 8, p. 275, 2018.

RUDNIAK, A.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; ANDRADE, A. R. Aplicação de técnicas de análise espacial para mapear áreas suscetíveis à enchentes urbanas. **GeoUERJ**, n. 35, e33292, 2019.

SAATY, T. H. A scaling method from priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAMANTA, S.; KOLOA, C.; PAL, D. K.; PALSAMANTA, B. Flood risk analysis in lower part of Markham River based on Multi Criteria Decision Approach (MCDA). **Hydrology**, v. 3, n. 3, p. 29, 2016.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

SCHMIDT, M. A. R.; BARBOSA, G. Uso de redes neurais artificiais na ponderação inicial da técnica AHP em análises de vulnerabilidade de bacias hidrográficas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 3, p. 511-525, 2016.

SEEJATA, K.; YODYING, A.; WONGTHADAM, T.; MAHAVIK, N.; TANTANEE, S. Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. **Procedia Eng**, v. 212, p. 340-347, 2018.

SILVA, C. S.; GIRÃO, O. Análise morfométrica e caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão (BHRJ) - Pernambuco. **Geosul**, v. 35, n. 75 p. 441-460, 2020.

SILVA JÚNIOR, M. A. B.; FONSECA NETO, G. C.; CABRAL, J. J. S. P. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 1, p. 222-240, 2020.

SILVEIRA, K. S.; HIKICHI, S. E.; SALGADO, E. G. Utilização do AHP para priorização das práticas de TQM na indústria farmacêutica. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 2, p. 524-549, 2016.

SOUZA, M. C. C.; AMORIM, M. C. C. T. Risco e vulnerabilidade socioespacial: O exemplo da bacia Córrego do Veado em Presidente Prudente (SP). **Boletim de Geografia**, v. 36, n. 1, p. 17-29, 2018.

TEDESCO, A. M.; OLIVEIRA, G. A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 401-407, 2021.

VOJTEK, M.; VOJTEKOVÁ, J. Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the Analytical Hierarchy Process. **Water**, v. 11, n. 2, p. 364, 2019.

WAQAS, H.; LU, L.; TARIQ, A.; LI, Q.; BAQA, M. F.; XING, J.; SAJJAD, A. Flash flood susceptibility assessment and zonation using an integrating Analytic Hierarchy Process and Frequency Ratio Model for the Chitral District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. **Water**, v. 13, n. 12, p. 1650, 2021.



---

#### Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

#### License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.