
Mapeamento das Áreas Suscetíveis a Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Duas Unas, em Pernambuco

Mapping of Areas Vulnerable to Flooding in Duas Unas Basin River, in Pernambuco

Mapeo de las Áreas Susceptibles a Inundaciones en la Cuenca Hidrográfica del Rio Duas Unas, en Pernambuco

Amaury Gouveia Pessoa Neto¹

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

Simone Rosa da Silva²

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

Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa³

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

RESUMO: Em diversas cidades do Brasil, o fenômeno da urbanização se desenvolveu mais intensamente a partir da segunda metade do século XX, provocando significativas alterações nas condições de uso da terra, resultando em consideráveis modificações no ciclo hidrológico. O reflexo dessas mudanças se tornou um dos principais problemas enfrentados pela sociedade, que é a potencialização da ocorrência de inundações. Dessa forma, o presente estudo buscou mapear as áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Duas Unas, em Pernambuco, utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG) em conjunto com um dos métodos de auxílio de Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDM), o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Para isso, foram elencados sete fatores que contribuem para a ocorrência de inundações que foram processados no software QGIS (v. 3.10.9) pelas técnicas de reclassificação e álgebra de mapas. Assim, foi possível elaborar o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações para a bacia estudada, sendo observado que as regiões mais propensas a esse tipo de desastre hidrológico são as que apresentam baixas altitudes e declividades, proximidades aos corpos hídricos, elevadas densidades de drenagem e áreas urbanizadas. Os resultados foram produzidos de modo satisfatório, demonstrando praticidade e eficiência quanto à precisão na sua determinação.

¹ Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (UPE). Atua na Secretaria Executiva de Gestão e Planejamento Urbano e Habitação da Prefeitura Municipal do Jaboatão dos Guararapes, na área de Geociências e Planejamento Urbano e Ambiental, com ênfase no Cadastro Técnico Multifinalitário. E-mail: agpn@poli.br.

² Doutorado em Engenharia Civil com ênfase em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora Associada da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: simonerosa@poli.br.

³ Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora titular do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) Campus Recife. E-mail: ionarameh@recife.ifpe.edu.br.

PALAVRAS-CHAVES: desastres hidrológicos; Processo Analítico Hierárquico; Sistemas de Informações Geográficas; Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios.

ABSTRACT: *In several cities in Brazil, the phenomenon of urbanization developed more intensely from the second half of the 20th century, causing significant changes in the conditions of land use, and resulting in considerable changes in the hydrological cycle. The reflection of these changes has become one of the main problems faced by society, which is the potentialization of the occurrence of floods. Thus, the present study sought to map the areas susceptible to flooding in the watershed of the river Duas Unas, in Pernambuco, using the Geographic Information System (GIS) in conjunction with one of the methods of aiding Decision Making by Multiple Criteria (MCDM), the Hierarchical Analytical Process (AHP). For this, seven factors that contribute to the occurrence of floods were listed and processed in the QGIS software (v. 3.10.9) by reclassification and map algebra techniques. Thus, it was possible to map the areas susceptible to flooding for the studied basin, observing that the regions that were more prone to this type of hydrological disaster are those with low altitudes and slopes and proximity to water bodies, have high densities of drainage and cover the urbanized areas. The use of this method for mapping areas susceptible to flooding in the watershed of the Duas Unas River was performed satisfactorily, demonstrating practicality and efficiency in terms of accuracy in determining the results.*

KEYWORDS: *hydrological disasters; Hierarchical Analytical Process; Geographic Information Systems; Decision Making by Multiple Criteria.*

RESUMEN: *En varias ciudades de Brasil, el fenómeno de la urbanización se desarrolló con mayor intensidad a partir de la segunda mitad del siglo XX, provocando cambios significativos en las condiciones de uso del suelo, lo que resulta en cambios considerables en el ciclo hidrológico. El reflejo de estos cambios se ha convertido en uno de los principales problemas que enfrenta la sociedad, que es la potencialización de la ocurrencia de inundaciones. Así, el presente estudio buscó mapear las áreas susceptibles de inundación en la cuenca del río Duas Unas, en Pernambuco, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) en conjunto con uno de los métodos de ayuda a la Toma de Decisiones por Criterios Múltiples (MCDM), el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Para esto, siete factores que contribuyen a la ocurrencia de inundaciones fueron listados y procesados en el software QGIS (v. 3.10.9) mediante técnicas de reclasificación y álgebra de mapas. Así, fue posible mapear las áreas susceptibles a inundaciones para la cuenca estudiada, observándose que las regiones más propensas a este tipo de desastre hidrológico son aquellas con bajas altitudes y pendientes, así como cercanía a cuerpos de agua, altas densidades de drenaje y zonas urbanizadas. El uso de este método para el mapeo de áreas susceptibles a inundaciones en la cuenca del río Duas Unas se realizó satisfactoriamente, demostrando practicidad y eficiencia en cuanto a la precisión en la determinación de los resultados.*

PALABRAS-CLAVE: *desastres hidrológicos; Proceso analítico jerárquico; Sistemas de Información Geográfica; Toma de decisiones por múltiples criterios.*

INTRODUÇÃO

No Brasil, o fenômeno da urbanização se desenvolveu de forma mais intensa a partir da segunda metade do século XX, quando houve um expressivo movimento da população à cidade que foi impulsionado pelas alternativas promovidas pela industrialização (Lima et al., 2019; Oliveira et al., 2019). Em considerável parte das cidades brasileiras, esse processo evoluiu de maneira desordenada, sem o acompanhamento de políticas públicas, ocasionando

problemas dos níveis social, econômico, cultural e, sobretudo, ambiental (Santos et al., 2020; Pereira; Souza Júnior; Vieira, 2022).

Quando ocorre de maneira não planejada, o desenvolvimento urbano resulta em mudanças significativas nas condições de uso da terra e nos padrões de paisagem, acarretando danos severos ao sistema ambiental (Santos et al., 2021; Liang et al., 2022). Ações antrópicas, como a remoção da cobertura vegetal para ampliação das áreas impermeabilizadas, causam expressivas mudanças nos elementos do ciclo hidrológico, como a potencialização do escoamento superficial e a redução da infiltração e da evapotranspiração da água precipitada (Frutuoso; Grigio; Barros, 2020; Mendes et al., 2022). Além de outras consequências, esse tipo de modificação traz o aumento das ocorrências de inundação.

Inundação é um fenômeno natural que ocorre quando, devido ao excesso de chuvas, um canal fluvial excede a capacidade de sua seção transversal, transbordando e atingindo a planície de inundação (Silva et al., 2020; Ozturk; Yilmaz; Kirbas, 2021). É o tipo de desastre mais frequente no mundo, caracterizado por provocar, na maioria das vezes, danos econômicos e perdas humanas (Amaral; Ross, 2020; Tiwari et al., 2020; Bucogen; Piccolo; Bohn, 2021). Conforme Alves et al. (2022), a compreensão da dinâmica e extensão das áreas suscetíveis a inundações se torna primordial para gestores, fundamentando a gestão eficiente do espaço urbano.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) representa um importante recurso tecnológico que permite auxiliar a identificação de áreas suscetíveis a inundações, uma vez que possibilita a coleta, o armazenamento e o tratamento de dados espaciais, bem como a combinação desses com dados hidrológicos, produzindo resultados satisfatórios (Li; Li; Yao, 2018; Pasaribu et al., 2021). Associado a outras técnicas de geoprocessamento, o SIG também é capaz de proporcionar a elaboração do planejamento dos procedimentos de evacuação, o monitoramento de desastres e a avaliação de danos de eventos extremos (Capioli; Vieira, 2019).

Em conjunto com o SIG, a Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDM) vem demonstrando ser uma notável ferramenta no tocante à análise de problemas de decisão complexos que abrangem vários dados ou critérios (Abdelkarim et al., 2020; Dash; Sar, 2020). Essa combinação tornou-se uma metodologia bastante utilizada nos campos da Geociências, principalmente em modelagens espaciais e análises de riscos naturais, como a avaliação de deformação e a erosão do solo e a suscetibilidade a movimentos de massa e a inundações (Ríos; Alfaro; Mantuano-Eduarte, 2018; Karymbalis et al., 2021).

O emprego dessa metodologia para a identificação de áreas suscetíveis a inundações pode ser conferido em estudos realizados em outros países, como Argélia (Abidine; Abdelmansour, 2018), Índia (Surwase et al., 2019), Egito (Abdrabo et al., 2020), Argentina (Bucogen; Piccolo; Bohn, 2021), Camarões (Nsangou et al., 2022), Canadá (Noori; Bonakdari,

2023), Sri Lanka (Wijesinghe et al., 2023), entre outros. Em cenário nacional, também é bastante comum serem produzidos estudos acerca dessa temática em diversas regiões do Brasil (Campioli; Vieira, 2019; Miranda et al., 2019; Leal; Barbosa; Aquino, 2020; Freiman; Carvalho, 2020; Palácio et al. 2021; Santos et al., 2022).

A bacia hidrográfica do rio Duas Unas, situada no estado de Pernambuco, enfrenta profundas transformações no espaço em decorrência da expansão desordenada da malha urbana, sobretudo em seu baixo curso. 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 intensificam os episódios de inundações urbanas, que se agravam durante eventos extremos de precipitação.

Esse fato foi comprovado mediante a precipitação ocorrida na região no dia 28 de maio de 2022, que atingiu um índice acumulado de 292,80 milímetros, equivalendo a 96,40% da média mensal (APAC, 2022). Além de inundações, esse evento extremo acarretou movimentos de massa na bacia do rio Duas Unas, resultando em significativos danos patrimoniais e ambientais, bem como a perda de vidas humanas.

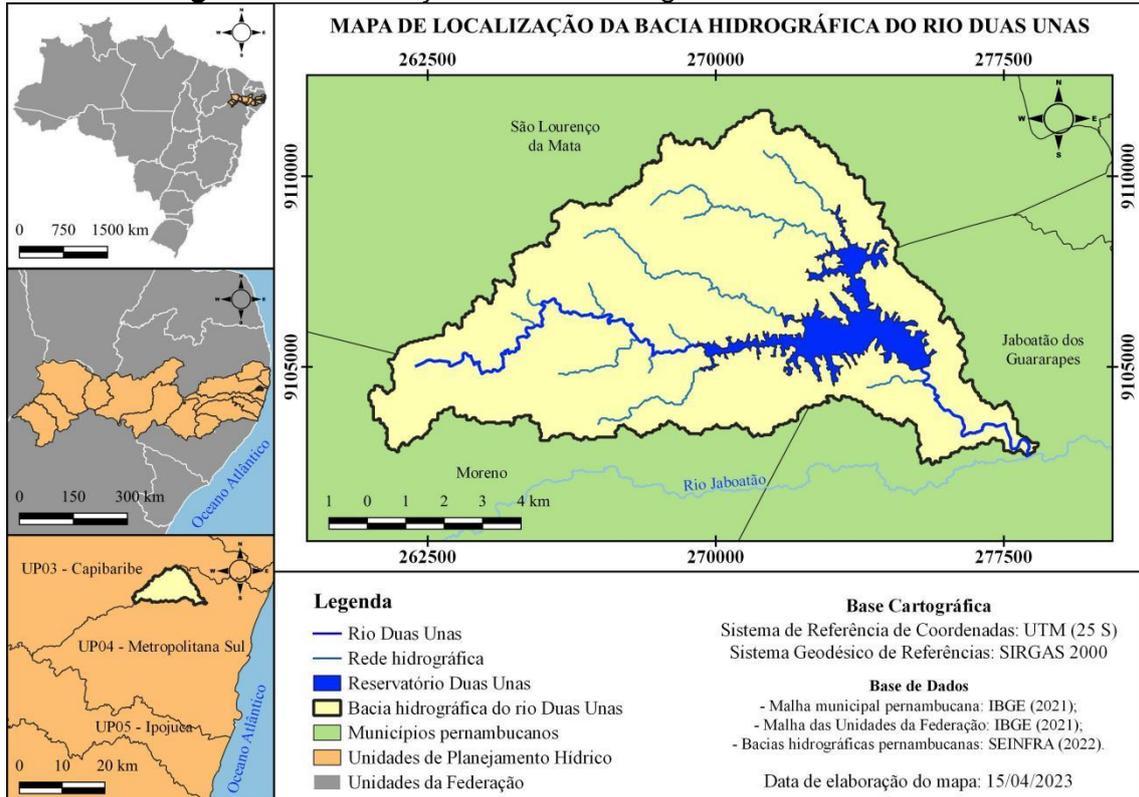
Diante do exposto, o presente estudo buscou mapear as áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Duas Unas, utilizando o SIG, em conjunto com um dos métodos de auxílio à MCDM, o Processo Analítico Hierárquico (AHP), a fim de produzir informações capazes de subsidiar a elaboração de políticas públicas mitigadoras desse tipo de evento hidrológico extremo.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Duas Unas está inserida no estado pernambucano, compreendida entre as coordenadas UTM (Fuso 25 S) 260.963,8974mE e 278.397,0187mE e 9.102.438,9096mN e 9.111.724,5928mN e drena uma área de 84,15 quilômetros quadrados. Como apresentado na Figura 1, a região se configura como uma sub-bacia do rio Jaboatão, que, de acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), pertence à Unidade de Planejamento 04 - UP04, denominada Metropolitana Sul (APAC, 2022).

Seu canal principal, o rio Duas Unas, apresenta, aproximadamente, 28 quilômetros de extensão, tem sua nascente no município de Moreno e percorre os municípios de São Lourenço da Mata e Jaboatão dos Guararapes até a sua confluência com o rio Jaboatão. Destaca-se nessa bacia a presença de uma barragem homônima, cuja finalidade é abastecer parte da RMR através de umas das maiores vazões aduzidas para a região (1.000 L/s) (Lins et al., 2020).

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Duas Unas.



Fonte: elaborado pelos autores.

Quanto à pluviometria, a bacia do rio Duas Unas apresentou índices pluviométricos médios máximo e mínimo mensais respectivos a 303,75 milímetros e 35,84 milímetros e média anual de 1.859,67 milímetros para um período de 14 anos, compreendido entre 1º de janeiro de 2009 e 31 de dezembro de 2022, segundo séries históricas de precipitação oriundas de cinco postos pluviométricos monitorados pela APAC e um pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Na região, o índice pluviométrico máximo mensal ocorre, geralmente, entre os meses de maio e junho, podendo ser superado, principalmente, na ocorrência de eventos extremos.

Acerca da geomorfologia, a região é representada, predominantemente, pelo Piemonte Cristalino da Borborema, que de acordo com Fonsêca, Corrêa e Silva (2016), é uma unidade morfológica caracterizada por apresentar formas convexas com altitudes, geralmente, abaixo de 200 metros.

Em relação ao uso e cobertura da terra, a agropecuária predomina na região, principalmente pelo cultivo de cana-de-açúcar e pela pastagem. No entanto, a maior parte do baixo curso da bacia é compreendida pela classe da urbanização, e é conferida uma expressiva quantidade de ocupações irregulares, que são responsáveis pela remoção da mata ciliar e lançamento de resíduos sólidos e de efluentes industriais e domésticos diretamente no rio Duas Unas.

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

SELEÇÃO DOS FATORES CONDICIONANTES À SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

A realização desta etapa consistiu na seleção de fatores condicionantes a inundações a partir de 25 estudos similares recentes, provenientes do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da plataforma *Google Scholar* (Abidine; Abdelmansour, 2018; Seejata et al., 2018; Cabrera e Lee, 2019; Campioli; Vieira, 2019; Miranda et al., 2019; Braga et al., 2020; Leal; Barbosa; Aquino, 2020; Bahia; Vasco; Sousa, 2021; Goulart; Matsuoka, 2021; Karymbalis et al., 2021; Ollii; Ollii; Pakaya, 2021; Palácio et al., 2021; Waqas et al., 2021; Zacharias et al., 2021; Aydin; Birincioğlu, 2022; Khoeun et al., 2022; Pessôa et al., 2022; Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022; Santos et al., 2022; Alausa; Adaradohun, 2023; Hassan; Kamarudzaman, 2023; Kumar; Jha, 2023; Majeed et al., 2023; Nandita; Rajpara, 2023; Wijesinghe et al., 2023).

Por meio dessa análise, foi verificado que os fatores declividade, hipsometria, uso e cobertura da terra, pedologia, índices de precipitação, densidade de drenagem e distância entre corpos hídricos foram os mais frequentes, sendo abordados em mais de dez estudos. Devido a essa reincidência, esses fatores foram selecionados para serem utilizados neste estudo.

Apesar dos diversos fatores elencados, vale ressaltar que alguns outros também foram considerados em estudos análogos, mas não apresentaram grande recorrência, como a geologia, a densidade urbana, a direção de drenagem, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), a orientação das vertentes e o *Curve Number* (CN). Dessa forma, esses fatores não foram considerados para este trabalho.

COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS ESPACIAIS PARA A ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

Os dados espaciais utilizados na confecção dos mapas dos fatores condicionantes a inundações foram obtidos a partir de sítios *on-line* de órgãos oficiais.

- Declividade: elaborado em formato matricial (*raster*) por meio de Modelo Digital do Terreno (MDT), com resolução espacial de um metro, proveniente do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D).

- Hipsometria: produzido a partir do MDT oriundo do PE3D, as cotas altimétricas apresentadas no mapa foram representadas em metros e agrupadas em oito classes.

- Uso e cobertura da terra: obtido na plataforma virtual do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas) no formato raster e com resolução espacial de 30 metros.

- Pedologia: adquirido no formato vetorial (*shapefile*) pela plataforma da EMBRAPA.

- Variabilidade espacial da precipitação: foram utilizadas séries históricas provenientes de seis estações pluviométricas, sendo cinco monitoradas pela APAC e uma pelo CEMADEN. Os dados históricos de precipitação corresponderam ao período compreendido entre 1º de janeiro de 2009 a 31 de dezembro de 2022, totalizando 14 anos. Diante desses dados históricos, foi constatado que algumas estações apresentavam informações completas, enquanto outras traziam lacunas. Para o complemento da falta desses dados, foi adotado o método da ponderação regional. Após o tratamento desses dados, foi utilizado o método aritmético para a determinação da precipitação média anual de cada estação. Em seguida, foi realizada uma interpolação pela ponderação pelo inverso da distância para elaborar o mapa da variabilidade espacial da precipitação da região do estudo.

- Densidade de drenagem: a partir da rede de drenagem da bacia em estudo, gerada por meio do MDT do PE3D, foi aplicado o método de densidade linear por unidade de área para verificar a razão entre o somatório da extensão de toda a rede hidrográfica, em quilômetros, e a área da bacia, em quilômetros quadrados. Nesse processo foi considerado que quanto maior a extensão de um ou mais canais fluviais dentro de uma determinada célula, maior a densidade de drenagem dessa área.

- Distância entre os corpos hídricos: através da camada da rede de drenagem foram gerados *buffers*, obedecendo as distâncias estabelecidas na etapa de reclassificação desse fator.

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

RECLASSIFICAÇÃO DOS FATORES QUANTO À SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

Nesta etapa, os fatores selecionados para este estudo foram reclassificados segundo um processo de associação de notas para consecutiva aplicação do AHP. Essas notas foram representadas por valores inteiros compreendidos entre 1 e 10, de modo que o valor 1 está relacionado às regiões menos suscetíveis à ocorrência de inundações e o 10, às mais suscetíveis. A Tabela 1 apresenta a atribuição das notas aos critérios (classes ou distâncias) dos fatores para realização da reclassificação, conforme a suscetibilidade a inundações.

O procedimento de reclassificação, segundo as notas atribuídas na Tabela 1, foi realizada no QGIS (versão 3.10.9). As camadas que apresentavam formato vetorial foram convertidas para o matricial, tornando-se possível a realização desta etapa.

Tabela 1 – Reclassificação dos critérios dos fatores, conforme a suscetibilidade a inundações

Fatores	Classes / Distâncias	Notas	Fatores	Classes / Distâncias	Notas
Declividade (%)	0 – 3	10	Pedologia	Água	10
	3 – 8	8		Gleissolos	7
	8 – 20	4		Argissolos	7
	20 – 45	2		Latossolos	1
	45 – 75	1	Precipitação média anual (mm)	1.600 – 1.700	1
Hipsometria (m)	25 – 45	10		1.800 – 1.800	3
	45 – 80	7		1.800 – 1.900	6
	80 – 100	6		1.900 – 2.000	8
	100 – 125	5		2.000 – 2.100	10
	125 – 150	4	Densidade de drenagem (km/km ²)	0,00 – 0,50	1
	150 – 175	3		0,50 – 3,00	3
	175 – 200	2		3,00 – 6,00	5
200 – 225	1	6,00 – 10,00		7	
Uso e ocupação do solo	Área urbana	10	> 10,00	10	
	Corpo hídrico	10	Distância entre corpos hídricos (m)	0 – 100	10
	Agropecuária	7		100 – 300	6
	Vegetação campestre	2		300 – 500	3
Vegetação florestal	1	> 500		1	

Fonte: elaborado pelos autores.

APLICAÇÃO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP)

O método estabelecido para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Duas Unas levou em consideração a aplicação do AHP, uma das técnicas de auxílio à MCDM desenvolvida por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970. O AHP é definido por um método voltado à tomada de decisões sobre problemas 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 Romero; Soto Flores; Garduño Román, 2020; Moreira-Franco; Ortega-Ordóñez, 2021; Rodríguez-Peral; Gómez Franco; García Manso, 2022).

Aplicando o AHP, os fatores selecionados neste estudo foram dispostos numa Matriz de Comparação Pareada, onde foram julgados paritariamente conforme sua influência a inundações. Essa comparação paritária (julgamento) ocorreu baseada na Escala Fundamental de Saaty, apresentada na Tabela 2. Assim, foi possível definir uma hierarquia de importância dos fatores avaliados com a construção do vetor de pesos, uma vez que cada

fator possui determinada relevância quanto à suscetibilidade a inundações. O procedimento de como esse vetor de pesos foi estabelecido pode ser verificado no Quadro 1.

Tabela 2 – Escala de julgamento de importância do 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	Intermediária	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: adaptado de Saaty (1977).

Quadro 1 – Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada

Matriz de Comparação Pareada						auto-vetor	Pesos
Fator	fator 1	...	fator p	...	fator n		
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	$\bar{g}_n = \sqrt[n]{a_{n1} \times \dots \times a_{np} \times \dots \times a_{nn}}$	$\omega_n = \frac{\bar{g}_n}{S}$
Soma (ωS)	$\sum_{p=1}^n a_{p1}$...	$\sum_{p=1}^n a_{pp}$...	$\sum_{p=1}^n a_{pn}$	$S = \sum_{p=1}^n \bar{g}_p$	1

Fonte: elaborado pelos autores.

Após o vetor de pesos ser determinado, foi preciso verificar a sua consistência, conforme os critérios estabelecidos por Saaty (1977). Essa análise foi realizada pelo cálculo da Razão de Consistência (RC) (Equação 1), que relaciona o Índice de Consistência (IC) com o Índice Randômico (IR). Para Saaty (1987), o valor da RC deve ser menor ou igual a 10% para que os julgamentos sejam confiáveis.

$$RC = \frac{IC}{IR} \tag{1}$$

Onde o IC é determinado pelo modelo apresentado na Equação 2 e o IR, por um valor proposto por Saaty (1987), que varia em função da quantidade “n” de fatores elencados na Matriz de Comparação Pareada (Tabela 3).

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Onde n é o número de fatores apresentados na Matriz de Comparação Pareada e $\lambda_{\text{máx}}$ é o Autovalor máximo.

Tabela 3 – Índices Randômicos (IR)

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

Fonte: Saaty (1987)

Para este estudo, que foram utilizados sete fatores, o valor adotado para o IR foi de 1,32.

ÁLGEBRA DE MAPAS APLICADA À ELABORAÇÃO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES E VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO MAPEAMENTO

Nessa etapa, os arquivos reclassificados dos fatores selecionados para este estudo foram associados com o vetor de pesos, determinado pela aplicação do AHP, por meio da álgebra de mapas. Para isso, foi utilizado o modelo matemático disposto na Equação 3. Dessa forma, foi estabelecido o mapa de suscetibilidade a inundações da bacia hidrográfica do rio Duas Unas.

$$M = \omega_D \times D + \omega_H \times H + \omega_U \times U + \omega_S \times S + \omega_P \times P + \omega_{Dd} \times Dd + \omega_A \times A \quad (3)$$

Vale salientar que a área representada pelo represamento do rio Duas Unas não foi considerada para análise, uma vez que é caracterizada pela acumulação de água do referido curso hídrico, estando constantemente inundada.

A fim de verificar a eficiência do método empregado neste estudo, um recorte do mapa de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio Duas Unas foi validado a partir da espacialização das ocorrências realizadas à Secretaria de Defesa Civil do Município de Jaboatão dos Guararapes (SEDC) decorrentes do evento extremo do dia 28 de maio de 2022. Esse recorte, que representa a parcela da região que abrange o município de Jaboatão dos Guararapes, foi considerado para a validação devido à disponibilidade dos dados que subsidiaram a análise.

Para esse tipo de validação, foram considerados como assertivos os pontos de ocorrência que coincidiram em estar localizados em áreas altamente suscetíveis a inundações, definidas pelo AHP.

Complementando a etapa de validação, foi realizada uma comparação do mapeamento de suscetibilidade a inundações com cinco registros fotográficos, datados de 28 de maio de 2022, que retratam episódios de inundação ocorridas na região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os mapas que representam o comportamento da bacia do rio Duas Unas quanto aos fatores que influenciam na suscetibilidade a inundações selecionados para este estudo. São eles: declividade (A), hipsometria (B), uso e cobertura da terra (C), pedologia (D), índices pluviométricos (E), densidade de drenagem (F) e hidrografia (distância entre corpos hídricos) (G).

Ao analisar a Figura 3, verifica-se que, quanto à topografia, as diversas classes de declividade são bem distribuídas na bacia, de modo que as regiões planas contemplam os corpos hídricos e as áreas urbanizadas. As baixas altitudes abrangem a porção sudeste da bacia, também coincidindo com a parte urbanizada.

Em relação ao uso e cobertura da terra da bacia, as áreas urbanizadas prevalecem nas proximidades do exutório, onde se encontra a antiga cidade-sede do município de Jabotão dos Guararapes. A formação florestal é composta por resquícios de Mata Atlântica e os corpos hídricos contemplam a rede hidrográfica da bacia e algumas massas d'água, como as manchas de inundação do reservatório Duas Unas e dos açudes Pixaó e Cananduba.

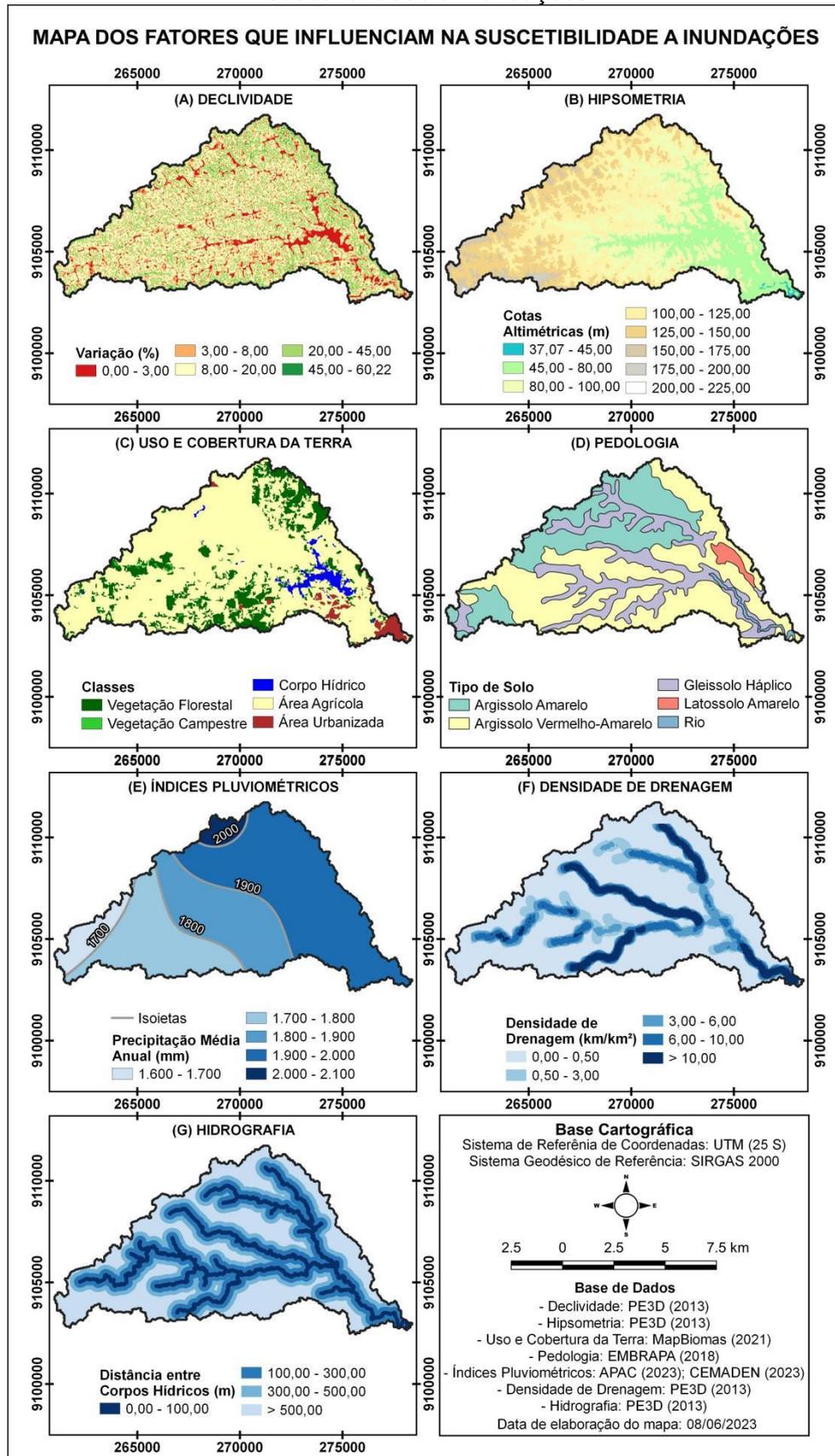
Acerca da pedologia, os argissolos e o Gleissolo Háplico, que são solos mais argilosos, são os predominantes, sendo verificados em quase toda a região. Quanto à variabilidade da precipitação média anual, os maiores índices pluviométricos constatados (superiores a 1.900 milímetros) estão presentes na porção oriental da bacia.

No tocante às características hidrográficas, cabe destaque a presença dos rios Duas Unas, Pixaó, Macaco e Manimibu, que configuram os rios mais representativos da bacia, apresentando trechos que denotam densidades de drenagem acima de 6 km/km².

O vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada determinado para este estudo pode ser conferido no Quadro 2, onde é verificado que, segundo a atribuição dos pesos aos fatores, a hipsometria representa o fator mais representativo, seguida da distância entre os corpos hídricos e da declividade.

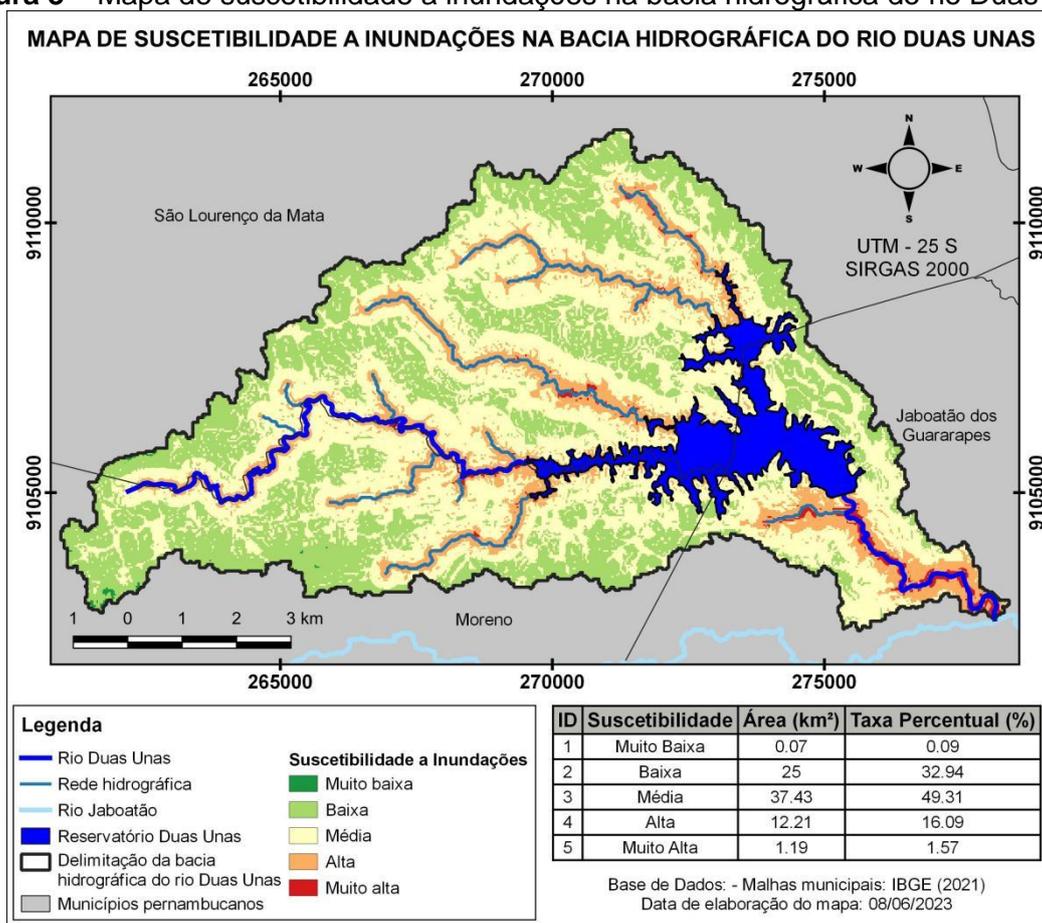
Após a determinação do vetor de pesos, ainda foi necessário verificar se o mesmo poderia ser considerado como consistente. Dessa forma, aplicando os requisitos do AHP, foram determinados um IC igual a 0,09 e uma RC igual a 6,81%. Pela RC apresentar um valor menor que 10%, os resultados determinados no estudo foram considerados como coerentes.

Figura 2 – Representação dos fatores, selecionados para este estudo, que influenciam na suscetibilidade a inundações



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 3 – Mapa de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio Duas Unas



Fonte: elaborado pelos autores.

Quadro 2 – 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	G	Pesos
Declividade (A)	1	1/4	2	5	6	5	1/2	0,16
Hipsometria (B)	4	1	5	7	8	7	3	0,40
Uso e ocupação do solo (C)	1/2	1/5	1	5	7	3	1/3	0,11
Pedologia (D)	1/5	1/7	1/5	1	2	1/3	1/6	0,03
Índices pluviométricos (E)	1/6	1/8	1/7	1/2	1	1/4	1/7	0,02
Densidade de drenagem (F)	1/5	1/7	1/3	3	4	1	1/5	0,06
Dist. entre corpos hídricos (G)	2	1/3	3	6	7	5	1	0,22

Fonte: elaborado pelos autores

Em seguida, o modelo matemático apresentado na Equação 4 foi desenvolvido para a produção do mapa das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Duas Unas, o qual foi processado pela álgebra de mapas, resultando no mapa exibido na Figura 3.

$$M = 0,16 \times D + 0,40 \times H + 0,11 \times U + 0,03 \times S + 0,02 \times P + 0,06 \times Dd + 0,22 \times A \quad (4)$$

Por meio do mapeamento da região quanto à suscetibilidade a inundações, é possível observar que maior parte da bacia do rio Duas Unas abrange a classe determinada como média, configurando 49,31% da região. As áreas de menores suscetibilidades a inundações contemplam 33,03% da bacia e estão distribuídas, em grande parte, em regiões de elevadas cotas altimétricas, distantes dos corpos hídricos, que apresentam formações florestais e de densidade de drenagem compreendida entre zero e 0,5 km/km².

As áreas mais propensas a inundações totalizam uma área de 13,40 quilômetros quadrados, o que representa 17,66% do território mapeado. Essas regiões se configuram por estarem localizadas nas proximidades dos corpos d'água, apresentarem baixas declividades e cotas altimétricas, possuírem elevadas densidades de drenagem e abrangerem as áreas urbanizadas.

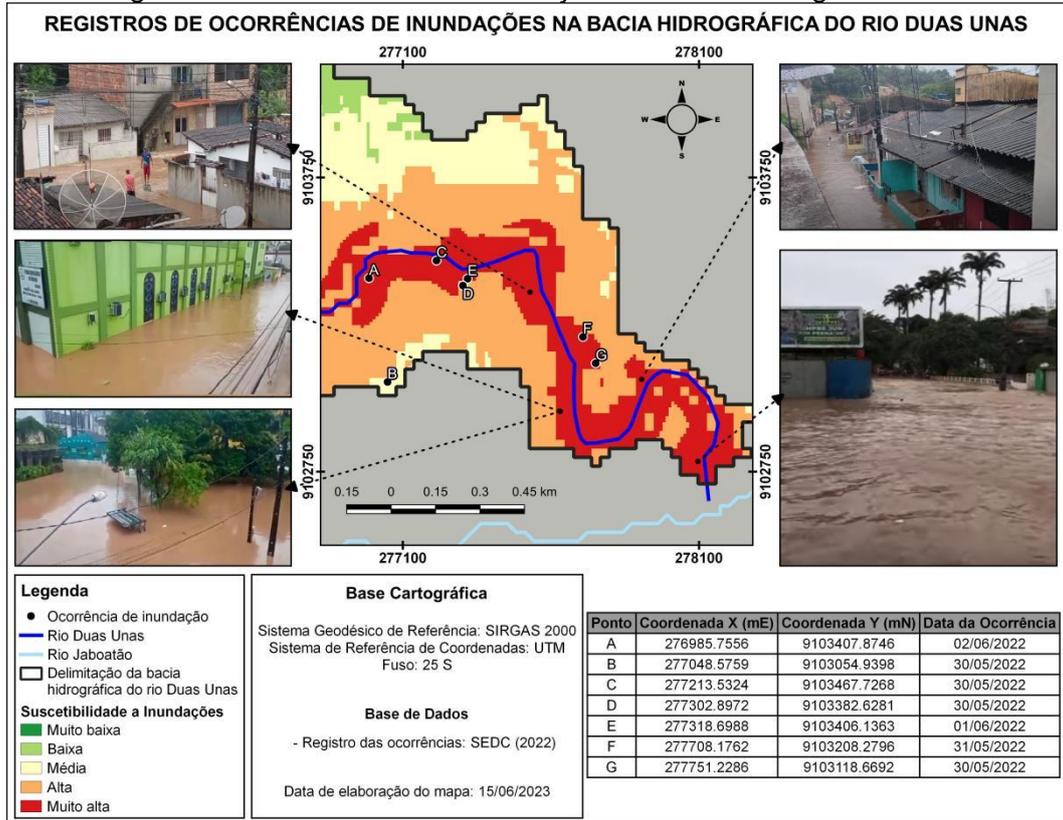
Resultados semelhantes foram constatados no estudo de Hassan e Kamarudzaman (2023), que verificaram que as áreas mais propensas a inundações na bacia hidrográfica do rio Kelantan, na Malásia, são as que se configuram como planas, apresentam baixas elevações e se situam próximas aos rios Galas e Lebir, tributários do rio principal. Para a bacia hidrográfica do rio Negro, na Argentina, Bucogen, Piccolo e Bohn (2021) revelaram que as zonas com maiores suscetibilidades a inundações são as áreas ribeirinhas ao rio principal e as que apresentam baixas declividades e solos argilosos.

De maneira similar, Santos et al. (2022) evidenciaram que os elevados níveis de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do córrego do Lenheiro, em Minas Gerais, se concentram, sobretudo, no médio e baixo curso dos canais principais que compõem a região (Córrego do Lenheiro e Rio Acima). Essas parcelas correspondem às áreas urbanizadas, as que possuem baixas altitudes e declividades e alta densidade de drenagem.

Pretendendo atestar os resultados apresentados neste estudo, sete registros de ocorrência de inundação na bacia do rio Duas Unas, disponibilizados pela SEDC, foram espacializados em um recorte do mapeamento produzido neste trabalho, o qual apresenta a parcela da bacia inserida no município de Jabotão dos Guararapes. Também foram considerados cinco registros fotográficos que retratam transtornos decorrentes da inundação ocorrida na região considerada no dia 28 de maio de 2022. Essa análise pode ser conferida na Figura 4.

Ao analisar a Figura 4, pode ser verificado que, das sete ocorrências registradas, seis coincidem estar localizadas em áreas de alta ou muito alta suscetibilidade a inundações. Essa constatação atribui uma acurácia de 85,71% ao método aplicado neste estudo. Acerca dos cinco registros fotográficos considerados, foi observado que todos estão localizados nas áreas definidas como altamente suscetíveis.

Figura 4 – Registros de ocorrências de inundações na bacia hidrográfica do rio Duas Unas



Fonte: elaborado pelos autores.

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, visto que, 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.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento quanto à suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio Duas Unas, em Pernambuco, revelou que parte do território em estudo, ou seja, 49,31% da região, apresenta média propensão a esse tipo de desastre. As áreas identificadas como altamente suscetíveis a inundações representam uma porção de 17,66% da bacia e são caracterizadas por regiões localizadas nas proximidades dos corpos hídricos, que apresentam baixas declividades e cotas altimétricas, possuem elevadas densidades de drenagem e abrangem as áreas urbanizadas.

A elaboração desse mapeamento foi realizada de modo satisfatório e a metodologia aplicada demonstrou praticidade e eficiência quanto à precisão na determinação dos resultados, o que pôde ser comprovado com registros reais de ocorrências de inundações no local. Essa conjuntura mostrou que a utilização de Sistema de Informações Geográficas em conjunto com o Processo Analítico Hierárquico se configura como uma ferramenta viável tanto em termos de economia de tempo quanto de recursos financeiros.

Destaca-se a importância da elaboração deste estudo no intuito de subsidiar o planejamento de políticas públicas, de forma a mitigar os danos causados pela ocorrência de desastres de natureza hidrológica.

REFERÊNCIAS

ABDELKARIM, Ashraf; AL-ALOLA, Seham S.; ALOGAYELL, Haya M.; MOHAMED, Soha A.; ALKADI, Ibtisam I.; ISMAIL, Ismail 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. 1-35, 2020.

ABDRABO, Karim I.; KANTOUSH, Sameh A.; SABER, Mohamed; SUMI, Tetsuya; HABIBA, Omar M.; ELLEITHY, Dina; ELBOSHY, Bahaa. Integrated Methodology for Urban Flood Risk Mapping at the Microscale in Ungauged Regions: a case study of Hurgada, Egypt. **Remote Sensing**, v. 12, n. 21, p. 1-22, 2020.

ABIDINE, Roukh Zine el; ABDELMANSOUR, Nadji. 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.

ALAUUSA, Olalekan; ADARADOHUN, Oluwayemisi. Geographical Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process approach for detecting of flood hazardous areas in Yewa South, Ogun state. **coou African Journal of Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 160–176, 2023.

ALVES, Maria Eduarda Pereira; FAN, Fernando Mainardi; PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de; SIQUEIRA, Vinícius Alencar; FLEISCHMANN, Ayan Santos; BRÊDA, João Paulo; LAIPELT, Leonardo; ARAÚJO, Alexandre Abdalla. Assessing the capacity of large-scale hydrologic-hydrodynamic models for mapping flood hazard in southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 27, p. 1-15, 2022.

AMARAL, Rosângela; ROSS, Jurandyr. A legislação e a gestão para redução de riscos relacionados a inundações no município de São Paulo/SP. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 525-538, 2020.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacias Hidrográficas**. 2022. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 17 jun. 2023.

AYDIN, Mehmet Cihan; BIRINCIUGLU, Elif Sevgi. Flood risk analysis using gis-based analytical hierarchy process: a case study of bitlis province. **Applied Water Science**, v. 12, n. 6, p. 1-10, 2022.

BAHIA, Diogo dos Santos Gonçalves; VASCO, Anderson Nascimento do; SOUSA, Inajá Francisco de. Determinação de áreas naturalmente suscetíveis a inundações utilizando análise multicritério no município de Aracaju, SE. *In*: SILVEIRA, José Henrique Porto (org.).

Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia – Volume 9. Belo Horizonte: Poison, 2021. p. 40-51.

BRAGA, Salatiel Ewen; WANDERLEY, Ricardo Andrade; HOLANDA, Tiago Fernando de; CALDAS, Anildo Monteiro. Aplicação da Análise Hierárquica para mapeamento de risco de inundação: O caso no município de Limoeiro (Pernambuco - Brasil). **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 1, p. 57-66, 2020.

BUCOGEN, Grethel García Bu; PICCOLO, Maria Cintia; BOHN, Vanesa Yael. Estimación de la susceptibilidad a inundaciones en la cuenca inferior de río Negro, Argentina. **Finisterra**, v. 56, n. 118, p. 51-70, 2021.

CABRERA, Jonathan Salar; LEE, Han Soo. Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: a case study in davao oriental, philippines. **Water**, v. 11, n. 11, p. 1-23, 2019.

CAMPIOLI, Pâmela Fermino; VIEIRA, Celso Voos. Avaliação do risco a inundação na Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 124-138, 2019.

CURY, Marlon Domingos; LADWIG, Nilzo Ivo; MENEGASSO, Juliana Debiasi; SUTIL, Thaise; CONTO, Danrlei de. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 83, p. 160-175, 2021.

DASH, Pratik; SAR, Jishnu. 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**, v. 13, n. 3, p. 1-14, 2020.

FONSÊCA, Drielly Naamma; CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; SILVA, Adriana Cassiano da. Compartimentação geomorfológica da Região Metropolitana do Recife (RMR) a partir da análise morfoestrutural. **Geo Uerj**, n. 29, p. 201-219, 2016.

FREIMAN, Fabiano Peixoto; CARVALHO, Camila de Oliveira. 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**, v. 13, n. 3, p. 1145-1161, 2020.

FRUTUOSO, Gilciane Kariny da Costa; GRIGIO, Alfredo Marcelo; BARROS, Terezinha Cabral de Albuquerque Neta. 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.

GÓMEZ ROMERO, José Andrés; SOTO FLORES, Rocío; GARDUÑO ROMÁN, Susana. Selección de un modelo para evaluar la sostenibilidad hidroeléctrica mediante el método AHP. **Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa**, v. 30, p. 117-141, 2020.

GOULART, Leticia Pena; MATSUOKA, Jaqueline Vicente. 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.

HASSAN, Zulkarnain; KAMARUDZAMAN, Ain Nihla. Development of Flood Hazard Index (FHI) of the Kelantan River Catchment Using Geographic Information System (GIS) Based Analytical Hierarchy Process (AHP). **Pertanika Journal Of Science And Technology**, v. 31, n. 1, p. 203-215, 2023.

KARYMBALIS, Efthimios; ANDREOU, Maria; BATZAKIS, Dimitrios-Vasileios; TSANAKAS, Konstantinos; KARALIS, Sotirios. 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. 1-24, 2021.

Geografia (Londrina) v. 33. n. 1. pp. 265 – 284, janeiro/2024.



KHOEUN, Chanseyma; SOK, Ty; CHAN, Ratboren; KHE, Sotheanea; ICH, Ilan; CHAN, Kimsan; OEURNG, Chantha. Assessing Flood Hazard Index using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographical Information System (GIS) in Stung Sen River Basin. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1091, n. 1, p. 1-10, 2022.

KUMAR, Niraj; JHA, Ramakar. GIS-based Flood Risk Mapping: the case study of kosi river basin, bihar, india. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 13, n. 1, p. 9830-9836, 2023.

LEAL, Fernanda Cláudia Barboza da Silva; BARBOSA, Ioná Maria Beltrão Rameh; AQUINO, Joás Tomaz de. 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.

LI, Jiqing; LI, Jianchang; YAO, Kaiwen. Inundation Analysis of Reservoir Flood Based on Computer Aided Design (CAD) and Digital Elevation Model (DEM). **Water**, v. 10, n. 4, p. 1-17, 2018.

LIANG, Chen; ZENG, Jian; ZHANG, Ruo-Chen; WANG, Qian-Wen. Connecting urban area with rural hinterland: a stepwise ecological security network construction approach in the urban-rural fringe. **Ecological Indicators**, v. 138, p. 1-11, 2022.

LIMA, Daniela de Freitas; SOUSA JUNIOR, Almir Mariano de; LIMA JÚNIOR, Francisco do O' de; SILVA, Manoel Mariano Neto da. Formação urbana e organização imobiliária: estudo acerca das cidades de São Miguel/RN e Pau dos Ferros/RN. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 8, n. 3, p. 475-496, 2019.

LINS, Eduardo Antonio Maia; SANTOS, Ewelyn Sâmaris Carneiro dos; CUNHA, Luiz Vital Fernandes Cruz da; CAVALCANTI, Rafael Costa. Diagnóstico e adequação ambiental na Área de Preservação Permanente associada à barragem Duas Unas em Pernambuco. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 3., 2020, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: Transmissão Online, 2020. p. 1- 9.

MAJEED, Muhammad; LU, Linlin; ANWAR, Muhammad Mushahid; TARIQ, Aqil; QIN, Shujing; EL-HEFNAWY, Mohamed E.; EL-SHARNOUBY, Mohamed; LI, Qingting; ALASMARI, Abdulrahman. Prediction of flash flood susceptibility using integrating analytic hierarchy process (AHP) and frequency ratio (FR) algorithms. **Frontiers In Environmental Science**, v. 10, p. 1-14, 2023.

MENDES, Thiago Augusto; SOUSA, Marlon Barbosa de; PEREIRA, Sávio Aparecido dos Santos; SANTOS, Kamila Almeida dos; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins. Uso do modelo HEC-RAS com base em informações de LiDAR para avaliação de inundações urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 141-157, 2022.

MIRANDA, Nivea Morena Gonçalves; CAPRARIO, Jakcemara; MARTINI, Luiz Carlos Pittol; FINOTTI, Alexandra. Hierarchical Analytical Process (AHP) in Spatial Modeling of Flood Vulnerability in Mixed Environments. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, n. 4, p. 172-181, 2019.

MOREIRA-FRANCO, Lenin Francisco; ORTEGA-ORDÓÑEZ, Carlos Francisco. Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal. **Polo del Conocimiento**, v. 6, n. 3, p. 15-39, 2021.

NANDITA, Rathod; RAJPARA, Gargi. Flood hazard assesment in Ambika river basin using GIS. **Tijer - International Research Journal**, v. 10, n. 3, p. 392-397, 2023.

NOORI, Amir; BONAKDARI, Hossein. A GIS-Based Fuzzy Hierarchical Modeling for Flood Susceptibility Mapping: A Case Study in Ontario, Eastern Canada. **Environmental Sciences Proceedings**, v. 25, n. 1, p. 1-10, 2023.

- NSANGOU, Daouda; KPOUMIÉ, Amidou; MFONKA, Zakari; NGOUH, Abdou Nasser; FOSSI, Donald Hermann; JOURDAN, Camille; MBELE, Henri Zobo; MOUNCHEROU, Oumar Farikou; VANDERVAERE, Jean-Pierre; NGOUPAYOU, Jules Remy Ndam. Urban flood susceptibility modelling using AHP and GIS approach: case of the Mfoundi watershed at Yaoundé in the South-Cameroon plateau. **Scientific African**, v. 15, p. 1-16, 2022.
- OLII, Muhammad Ramdhan; OLII, Aleks; PAKAYA, Ririn. The Integrated Spatial Assessment of the Flood Hazard Using AHP-GIS: the case study of gorontalo regency. **Indonesian Journal of Geography**, v. 53, n. 1, p. 126-135, 2021.
- OLIVEIRA, Émerson Dias de; SANTOS, Camila Bertelli; GEREMIAS, Maria Clara de Proença; SAMPAIO, Stefany dos Santos. A urbanização enquanto uma estrutura produtora de (des)igualdades socioespaciais e consciência crítica. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 13, n. 1, p. 116-127, 2019.
- OZTURK, Derya; YILMAZ, Ilknur; KIRBAS, Ufuk. Flood hazard assessment using AHP in Corum, Turkey. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v. 12, n. 2, p. 379-415, 2021.
- PALACIO, Orjana Dias; OLIVEIRA, Carlos Wagner; MEIRELES, Ana Célia Maia; SOUZA JÚNIOR, Teobaldo Gabriel. Análise da susceptibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2204-2219, 2021.
- PASARIBU, Riza Aitiando; BUDI, Pandu Setya; HAKIM, Muhamad Abdul Ghofur Al; ADITAMA, Farel Ahadyatulakbar; AYUNINGTYAS, Nurina Hanum. Coastal Inundation Model in the Coastal Area of Palopo City, South Sulawesi Province. **Journal Of Applied Geospatial Information**, v. 5, n. 1, p. 451-456, 2021.
- PEREIRA, Georgia Martins; SOUSA JÚNIOR, Almir Mariano de; VIEIRA, Anderson Henrique. Marco Legal da Urbanização no Brasil: reflexos na função social da propriedade. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 11, n. 01, p. 77-94, 2022.
- PESSÔA, Vinícius Marques Müller; CECAGNO, Camila Frandi; CAMARGO, Danilo Mangaba de; MARQUES, Mara Lúcia. Contribuição de Aspectos Naturais e Antropogênicos para Análise do Perigo à Inundação em Campinas-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 1, p. 100-121, 2022.
- PESSOA NETO, Amaury Gouveia; SILVA, Simone Rosa da; BARBOSA, Ioná Maria Beltrão Rameh. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Boletim de Geografia**, v. 40, p. 277-296, 2022.
- RÍOS, Scarlet Cartaya; ALFARO, Shirley Zurita; MANTUANO-EDUARTE, Roddy. Identificación de conflictos de uso de la tierra para la observación de Cuniculus paca, Ecuador. **Revista Geográfica Venezolana**, v. 59, n. 8, p. 262-279, 2018.
- RODRÍGUEZ-PERAL, Eva Matarín, GÓMEZ FRANCO, Tomás; GARCÍA MANSO, Almudena. 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**, v. 80, p. 89-117, 2022.
- SAATY, Thomas Lorie. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal Of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.
- SAATY, Rozann W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.
- SANTOS, Angela Moulin S. Penalva; SILVA, Ana Paula Vasconcellos da; MATTOS, Carmem Silvia; LIMA, Mateus Fernandes Vilela; NACUR, Elisa; DESCHAMPS, Luiza; AMARAL, Luma; BRÁS, Vivian. O município e os desafios da política urbana em aglomerados urbanos: a experiência da metrópole fluminense. **Geo Uerj**, n. 36, p. 1-22, 2020.

SANTOS, Kamila Almeida dos; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins; BRAGA, Vinícius Sobreira; FARIA, Karla Maria Silva de. Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia - GO. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, p. 1-23, 2021.

SANTOS, Thiago Gonçalves; FERREIRA, André Barbosa Ribeiro; VENTORINI, Sílvia Elena; ZACHARIAS, Andréa Aparecida; TEIXEIRA, Ana Luísa. Análise Multicriterial de Decisão aplicada às áreas suscetíveis a inundações na bacia do córrego do Lenheiro – São João Del-Rei, Minas Gerais. **GEOgraphia**, v. 24, n. 53, p. 1-16, 2022.

SEJATA, Kamonchat; YODYING, Aphittha; WONGTHADAM, Tubtim; MAHAVIK, Nattapon; TANTANEE, Sarintip. Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. **Procedia Eng**, n. 212, p. 340-347, 2018.

SILVA, Gabriela Mendonça da; ALVES, André Campos; SANTOS, Mayara Queiroz dos; SOUSA, Kenya Correa de. Risco ambiental em um trecho da microbacia do igarapé do Quarenta, Manaus-AM: Uma análise sobre as inundações. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 102, p. 100-115, 2020.

SURWASE, Tushar; MANJUSREE, P.; NAGAMANI, P. V.; JAISANKAR, G. Novel technique for developing flood hazard map by using AHP: a study on part of Mahanadi river in Odisha. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 10, p. 1-16, 2019.

TIWARI, Varun; KUMAR, Vinay; MATIN, Mir Abdul; THAPA, Amrit; ELLENBURG, Walter Lee; GUPTA, Nishikant; THAPA, Sunil. Flood inundation mapping - Kerala 2018; Harnessing the power of SAR, automatic threshold detection method and Google Earth Engine. **Plos One**, v. 15, n. 8, p. 1-17, 2020.

WAQAS, Hassan; LU, Linlin; TARIQ, Aqil; LI, Qingting; BAQA, Muhammad Fahad; XING, Jici; SAJJAD, Asif. 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. 1-18, 2021.

WIJESINGHE, Dilnu Chanuwan; MISHRA, Prabuddh Kumar; TRIPATHI, Sumita; ABDELRAHMAN, Kamal; TIWARI, Anuj; FNAIS, Mohammed S. Integrated Flood Hazard Vulnerability Modeling of Neluwa (Sri Lanka) Using Analytical Hierarchy Process and Geospatial Techniques. **Water**, v. 15, n. 6, p. 1-23, 2023.

ZACHARIAS, Andrea; TEIXEIRA, Ana Luisa; VENTORINI, Sílvia Elena; FERREIRA, André Barbosa Ribeiro; SANTOS, Thiago Gonçalves. A cartografia de síntese e as estruturas verticais e horizontais da paisagem em ambientes urbanos suscetíveis à inundações. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 41, p. 1-16, 2021.

Recebido: junho de 2023.

Aceito: outubro de 2023.