



ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO NA BACIA DO RIO JIQUIÁ, RECIFE/PE

Diogo Henrique Fernandes da Paz

Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Professor do Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
diogo.paz@cabo.ifpe.edu.br

Erika Alves de Meneses

Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco - CAA

Fabricio David Simplicio Aniceto

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária - IFPE

Pâmela Vitória da Silva

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária - IFPE

Leonel Vitorio Esteves

Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Resumo: A urbanização e as mudanças climáticas tem impacto de forma considerável a ocorrência de enchentes em áreas urbanas. Tem sido utilizado na literatura científica metodologias que integram dados geoespaciais como ferramenta de mapeamento das áreas suscetíveis a inundações. Este artigo aborda a identificação de áreas suscetíveis a inundações na bacia do rio Jiquiá, em Recife-PE. A metodologia inclui o uso do QGIS 3.30 para análise multicritério, considerando parâmetros como hipsometria, declividade, uso e ocupação do solo, pedologia e distância dos corpos hídricos. A reclassificação desses parâmetros seguiu um sistema de pontuação e foi aplicada uma álgebra de mapas para obter o índice de suscetibilidade às inundações. Os resultados indicam que quase metade da bacia possui alta suscetibilidade, com áreas urbanizadas em menor elevação mais expostas ao escoamento superficial e ao risco de enchentes. O bairro Torrões se destaca com 80,6% de área de risco muito alto. Conclui-se que intervenções estruturais, como drenagem urbana e pavimentos permeáveis, são necessárias para reduzir o impacto das inundações. Estudos futuros devem incluir dados de precipitação e variabilidade climática para aprimorar a análise de risco.

Palavras-chave: Sistema de Informações Geográficas, Drenagem Urbana, Inundação.

1. Introdução

Um dos desastres naturais mais comuns em áreas urbanas é a inundação, influenciada por mudanças climáticas, precipitação e alterações em seu padrão, além da urbanização. Nos últimos anos, a preocupação com as inundações tem aumentado devido aos significativos prejuízos e danos causados (Dash; Dar, 2020; Khiavi *et al.*, 2024).



Conforme apontam Tolentino *et al.* (2023), em regiões costeiras, o risco de inundações é amplificado pelas características planas do relevo, somado ao impacto potencial do aumento do nível do mar, o que pode desencadear consequências ambientais e socioeconômicas consideráveis.

Portanto, diversos estudos sobre inundações têm sido publicados, examinando componentes como vazão de pico, volume de inundação e frequência de enchentes (Khiavi *et al.*, 2024). Nas últimas décadas, muitos estudos utilizaram a análise de decisão multicritério (MCDA) para estimar o risco e o perigo de inundações baseados em índices, entendendo o papel dos parâmetros que controlam as inundações (Swain; Singha; Nayak, 2020; Pathan *et al.*, 2022; Lima; Faccioli; Medeiros, 2024).

A análise multicritério é uma abordagem alternativa para reduzir a incerteza na previsão de inundações, combinando diferentes parâmetros que representam diferentes características das manchas de inundação (Pang *et al.* 2018). Para Mitra, Saha e Das, (2022), considerando que as inundações são fenômenos dinâmicos multidimensionais, a integração da abordagem MCDA com o Sistema de Informações Geográficas possibilita uma análise mais abrangente e detalhada dos fatores que contribuem para a ocorrência desses eventos.

Assim como diversos municípios brasileiros, a cidade do Recife/PE sofre constantemente com episódios de alagamentos e inundações (Parisi; Soares; Rosa Filho, 2020; Guedes; Araújo, Andrade, 2021; Silva; Soares; Holanda, 2023). Dentre as áreas de maior risco, estão as Regiões Político-Administrativas 4 e 5, onde está localizada a bacia do rio Jiquiá.

De acordo com Silva *et al.* (2021), a urbanização na bacia do Rio Jiquiá causou mudanças significativas no uso e ocupação do solo, impactando diretamente seu sistema hidrológico. Os dados indicam um aumento considerável na taxa de urbanização entre 1985 e 2019, o que levou ao crescimento do volume de escoamento superficial das águas pluviais e à redução do volume infiltrado no solo.

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo mapear as áreas suscetíveis às inundações na bacia hidrográfica do rio Jiquiá, em Recife/PE, utilizando a Análise Multicritério.

2. Metodologia

2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia Hidrográfica do rio Jiquiá, localizada na cidade do Recife/PE, representa uma sub-bacia do Rio Tejipió, e tem sua nascente no bairro da Várzea (Figura 1). Possui uma área de 22,73 km², abrangendo 17 bairros das Regiões Político-Administrativa (RPA) 4 e 5 de Recife, totalizando 189.189 pessoas, e 77.929 domicílios.



Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Jiquiá



A Bacia do Rio Jiquiá possui uma parcela de sua área pouco ocupada, principalmente a montante da BR-232, nos bairros de Várzea e Curado, e nas proximidades de seu encontro com o Tejipió (Silva *et al.*, 2021).

O rio principal apresenta uma extensão de 9,33 km e, junto aos seus afluentes, totaliza uma rede de drenagem de 28,78 km. Dentre os afluentes do rio Jiquiá, destacam-se o Canal Guarulhos, o Canal dos Torrões e o Canal São Leopoldo.

2.2 Procedimentos Metodológicos

Para a identificação das áreas suscetíveis às inundações na bacia do rio Jiquiá, utilizou-se a metodologia adaptada de Pessoa Neto *et al.* (2023), que realizaram o estudo na bacia do Rio Tejipió.

Os dados espaciais foram manipulados no *software* livre QGIS 3.30. Assim, os parâmetros utilizados para o mapeamento foram: declividade; hipsometria; uso e ocupação do solo; distância entre os corpos hídricos; e pedologia. Para esta pesquisa, foi excluído o parâmetro de índices de precipitação, por ser uma sub-bacia, com área menor, e devido à indisponibilidade de dados necessários para utilização deste parâmetro.

Os dados de hipsometria (altitude) foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da plataforma Pernambuco Tridimensional (PE3D), no formato *raster*, com resolução espacial de 1m. Enquanto os dados de declividade foram gerados a partir do arquivo de Hipsometria, utilizando a ferramenta de “Declividade” do *software* QGIS.

O uso e ocupação do solo da bacia foi obtido da base cartográfica da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), que fornece arquivos *shapefiles* de Áreas de



Preservação Permanente (APP), hidrografia e uso e ocupação do solo de cada município brasileiro.

O arquivo vetorial de Pedologia foi obtido do Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA), disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Por fim, em relação à hidrografia, foram utilizados os dados do FBDS, porém foi realizada uma validação a partir da extração de arquivos de linha do complemento *OSM Downloader*, disponível no QGIS. Os arquivos desse *plugin* identificam com nome e classificam a rede hidrográfica. Com estes arquivos, foi realizado o ajuste nas linhas manualmente, comparando-as com a ortofoto da bacia hidrográfica.

Para cada parâmetro utilizado, foram definidos *scores* de acordo com as classes/distâncias, variando de 1 a 10. A Tabela 1 apresenta os critérios (classes ou distâncias) dos fatores reclassificados com base nas notas atribuídas às condições de suscetibilidade às inundações na bacia hidrográfica do rio Jiquiá (Pessoa Neto *et al.*, 2023).

Tabela 1. Reclassificação dos critérios e fatores, conforme a suscetibilidade às inundações.

Fatores	Classes / Distâncias	Score	Fatores	Classes / Distâncias	Score
Declividade (%)	0,00 – 3,00	10	Pedologia	Área Urbana	10
	3,00 – 8,00	8		Água	10
	8,00 – 20,00	4		Solos de Mangue	9
	20,00 – 45,00	2		Gleissolos	7
	> 45,00	1		Argissolos	7
Hipsometria (m)	0,00 – 2,50	10		Neossolos	4
	2,50 – 5,00	9		Latossolos	1
	5,00 – 20,00	7	Uso e ocupação do solo	Área Artificial	10
	20,00 – 50,00	5		Corpo Hídrico	10
	50,00 – 75,00	4		Mangue	9
	75,00 – 100,00	3		Solo Exposto	7
	100,00 – 125,00	2		Agropecuária	7
Distância dos corpos hídricos (m)	0,00 – 150,00	10		Vegetação campestre	3
	150,00 – 300,00	8		Vegetação florestal	1
	300,00 – 500,00	3			
	> 500,00	1			

Fonte: Adaptado de Pessoa Neto *et al.* (2023).

Os *scores* dos arquivos em formato vetorial (Pedologia, Distância dos corpos hídricos e uso e ocupação do solo) foram incluídos por meio de criação de uma nova coluna na Tabela de Atributos de cada camada. O valor do *score* foi inserido a partir da ferramenta de Calculadora de Campo. Após esse procedimento, foi realizada a rasterização dessas camadas vetoriais, para uma resolução de 5m. Para os arquivos que já estão no formato *raster* (Hipsometria e Declividade), foi utilizada a ferramenta *reclass* para reclassificar os *pixels* de acordo com os *scores* definidos.

Com todos os parâmetros no formato *raster*, foi realizada uma álgebra de mapas, por meio da ferramenta *Calculadora raster* do QGIS, na qual os *scores* foram multiplicados por



um peso de importância, definido por Pessoa Neto *et al.* (2023) a partir do Método AHP, e depois somados os parâmetros, para obtenção do índice final de suscetibilidade à inundação. Conforme apontam Mahmoodi *et al.* (2023), a escolha do método de ponderação apropriado é importante para priorizar bacias hidrográficas nos projetos de drenagem urbana, pois parâmetros diferentes possuem pesos diferentes.

Diante disso, a Equação 1 apresenta o cálculo do índice, adaptado, em que foi realizada a exclusão do parâmetro da variabilidade espacial da precipitação e redistribuídos o peso dos demais parâmetros.

$$I_{si} = \omega_D \times D + \omega_H \times H + \omega_U \times U + \omega_S \times S + \omega_A \times A$$

Onde: I_{si} é o índice de suscetibilidade às inundações;

D é o *score* de declividade;

H é a hipsometria;

U é o uso e ocupação do solo;

S é a pedologia;

A é a distância dos corpos hídricos; e

ω é o peso de cada parâmetro.

Após a obtenção do índice final, o novo arquivo *raster* foi reclassificado de acordo com a classe de suscetibilidade, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2. Classes de suscetibilidade da bacia.

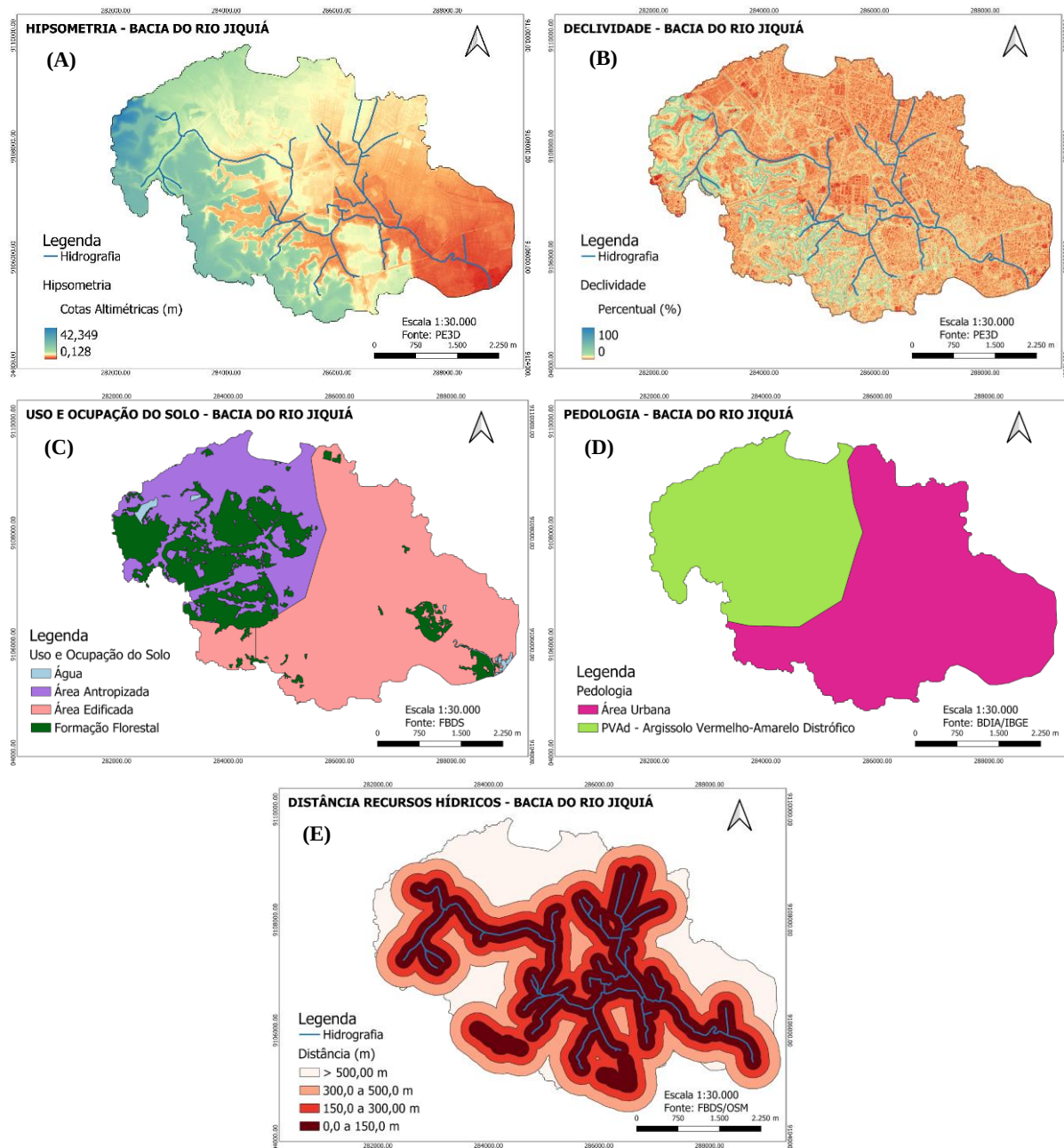
Classe	Score
Muito Baixa	0,0 a 2,0
Baixa	2,1 a 4,0
Média	4,1 a 6,0
Alta	6,1 a 8,0
Muito Alta	8,1 a 10

Fonte: Pessoa Neto *et al.* (2023).

3. Resultados

A Figura 2 apresenta os mapas referentes aos parâmetros utilizados na pesquisa quanto aos fatores condicionantes à suscetibilidade às inundações, sendo: (A) Hipsometria, (B) Declividade, (C) Uso e ocupação do solo, (D) Pedologia e, (E) Distância de Recursos hídricos.

Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Jiquiá



Observa-se que a área da bacia está amplamente urbanizada, especialmente nas regiões de menor elevação, o que pode resultar em maior escoamento superficial das águas pluviais e menor infiltração, aumentando o risco de inundações. Esse padrão sugere que a urbanização pode ter impactado o sistema hidrológico da bacia, contribuindo para problemas de gestão hídrica e exigindo planejamento urbano que leve em conta essas características topográficas para mitigar riscos de enchentes. A amplitude hipsométrica da bacia é bastante reduzida, variando de 0 a 42 m.



Quanto ao uso e ocupação do solo, identifica-se que 12,28 km² (54,0%) refere-se às áreas edificadas, com predominância nos trechos médio e baixo do rio Jiquiá, correspondentes às áreas de menor altitude. Além disso, a bacia possui 5,17 km² (22,7%) de áreas antropizadas, representadas por áreas de agricultura, vegetação rasteira e solo exposto, predominantemente no trecho alto da bacia. Também na parte mais elevada da bacia tem-se áreas de formação florestal, com 4,97 km² (21,8%) e recursos hídricos, com 0,14 km² (0,6 %).

Em relação à pedologia da bacia, predominam os solos de área urbana, com 13,3 km² (58,5%), e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com 9,4 km² (41,4%), solo comum em regiões tropicais e subtropicais do Brasil, sendo encontrado especialmente em áreas de relevo ondulado e suave-ondulado.

O levantamento da hipsometria aponta que a maior parte da área da bacia corresponde a uma cota altimétrica entre 5 a 20m, com 15,75 km². As áreas mais plantas, correspondente às cotas altimétricas de 0,0m a 5,0m representam 5,17 km². Já as áreas de cotas mais elevadas (20 a 50 m) representam 2,05 km².

Os dados de declividade apontam que predominam na bacia o relevo do tipo suave-ondulado, com 10,37 km² (45,7%), seguido do relevo plano, com 7,42 km² (32,7%). As áreas mais inclinadas possuem menor expressividade, como o relevo ondulado (3,91 km²), forte-ondulado (1,10 km²), e montanhoso (0,15 km²).

Em vista disso, a Figura 3 apresenta o mapa final de suscetibilidade às inundações na bacia do rio Jiquiá, a partir da álgebra de mapas realizada, somando-se os *scores* dos parâmetros utilizados. E a Tabela 3 apresenta as classes de suscetibilidade com as respectivas áreas de abrangência e percentual.

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

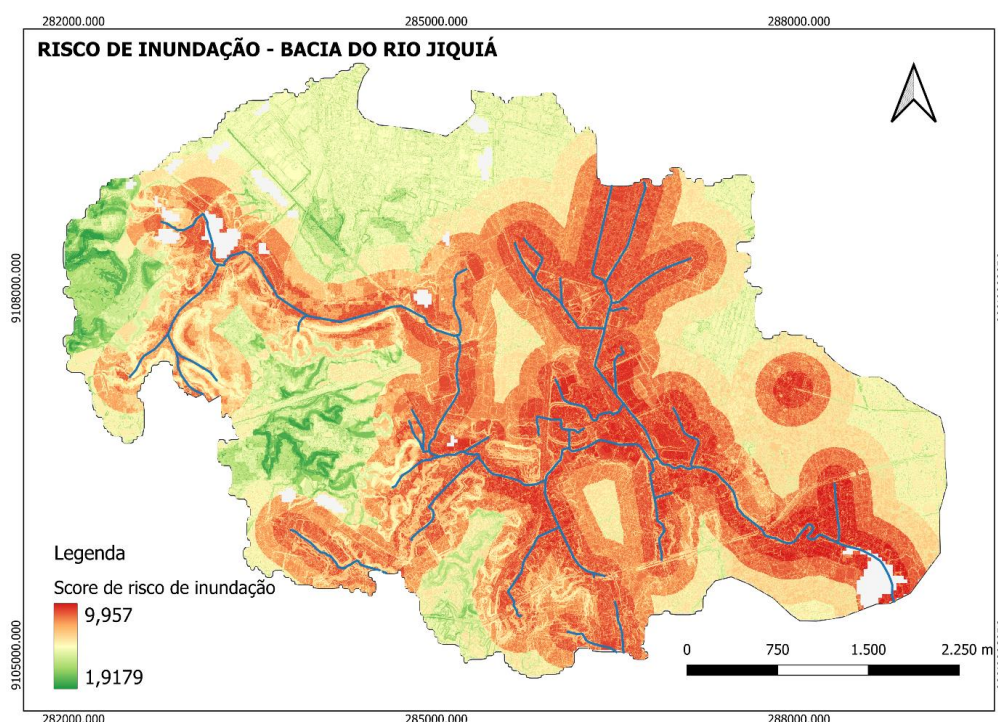




Tabela 3. Classes de suscetibilidade da bacia do rio Jiquiá

Suscetibilidade	Área (km ²)	Taxa Percentual (%)
Muito Baixa	0,00	0,0
Baixa	0,55	2,5
Média	3,98	18,0
Alta	7,52	34,2
Muito Alta	9,99	45,3
Total	22,04	100,00

Observa-se que quase metade da área da bacia possui uma suscetibilidade muito alta às inundações, predominando em áreas próximas às margens do rio Jiquiá e seus afluentes. A área urbanizada da bacia, por serem localizadas nas áreas de cotas próximas ao nível do mar e planas, abrangem as áreas de alta suscetibilidade a inundações.

A Tabela 4 apresenta a área de cada bairro que se encontra em classe de suscetibilidade muito alta.

Tabela 4. Avaliação das áreas de suscetibilidade muito alta em cada bairro pertencente à bacia do rio Jiquiá

Bairros	Área do bairro dentro da bacia (km ²)	Área de risco muito alto (km ²)	Percentual do bairro em risco (%)
Afogados	1,05	0,44	41,9
Areias	0,33	0,21	63,6
Barro	0,66	0,46	69,7
Cidade Universitária	0,82	0,00	0,0
Cordeiro	0,25	0,04	16,0
Curado	6,27	2,79	44,5
Engenho do Meio	0,73	0,21	28,8
Estância	0,59	0,40	67,8
Jardim São Paulo	2,58	1,83	70,9
Jiquiá	1,32	0,78	59,1
Mangueira	0,31	0,09	29,0
Mustardinha	0,46	0,00	0,0
San Martin	1,67	0,51	30,5
Sancho	0,56	0,31	55,3
Tejipió	0,25	0,03	12,0
Torrões	1,50	1,21	80,6
Várzea	3,38	0,69	20,4
Total	23,73	100,00	-

Observa-se que o bairro de Torrões obteve o maior percentual da área situada em área de suscetibilidade Muito Alta (80,6%), seguido do bairro de Jardim São Paulo (70,9%). Nos Torrões, existem dois afluentes do rio Jiquiá, sendo um deles o Canal dos Torrões, que possui 919 m de extensão. Ao longo de todo o trecho, é possível identificar residências às margens do canal, lançamento clandestino de esgoto doméstico e resíduos descartados irregularmente. (Figura 4). Todos esses fatores contribuem para a ocorrência de inundações.



Workshop Internacional

SUSTENTARE & WIPIS 2024

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro

Transmissão online • Evento gratuito

Realização




Apoio Institucional



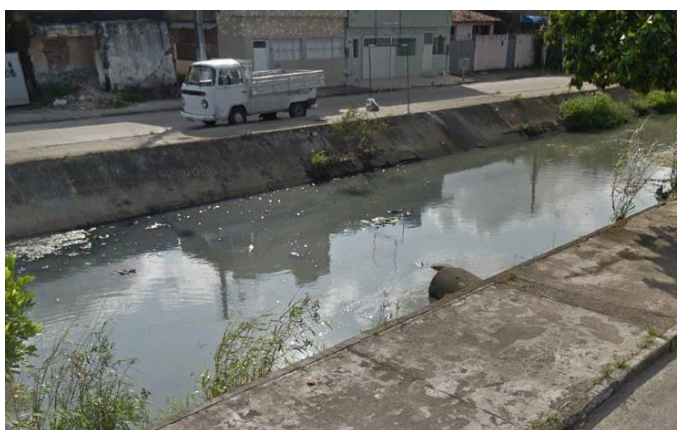

Figura 4. Situação atual do Canal dos Torrões



Fonte: Google Earth

Já no bairro de Jardim São, existe o Canal Guarulhos, que contorna o bairro, com uma extensão de 979 m, que também sofre constantemente com inundações no período chuvoso. Apesar de não haver muita deposição irregular de resíduos nem ocupação em sua margem, é possível observar que também recebe lançamento de esgoto sanitário sem tratamento (Figura 5).

Figura 5. Situação atual do Canal Guarulhos



Fonte: Google Earth

4. Conclusões

Os resultados deste estudo confirmaram que a bacia hidrográfica do rio Jiquiá apresenta áreas com alta suscetibilidade a inundações, especialmente em regiões planas e densamente urbanizadas, onde o escoamento superficial é mais acentuado devido à redução de áreas permeáveis. A análise multicritério permitiu uma avaliação detalhada dos fatores condicionantes de risco atendendo plenamente ao objetivo de identificar as áreas mais vulneráveis a enchentes.

Dessa forma, ficou evidente a necessidade de intervenções tanto estruturais quanto baseadas na natureza para mitigar o risco de inundações. Alternativas como a criação de zonas



de infiltração, instalação de pavimentos permeáveis e sistemas de drenagem eficientes, incluindo bacias de retenção, são estratégias que podem diminuir o impacto das chuvas intensas na bacia. Outra medida fundamental é a inclusão de critérios de restrição à ocupação em áreas de alta suscetibilidade, promovendo um planejamento urbano mais adaptado às condições locais.

Para aprofundar o conhecimento sobre a dinâmica de inundações na bacia do rio Jiquiá e melhorar a gestão de riscos, sugere-se a continuidade da pesquisa com a inclusão de novos parâmetros, como dados de precipitação e variabilidade climática, que podem refinar as previsões de risco. Estudos futuros também podem explorar o impacto de mudanças climáticas nos padrões de inundação e a eficiência de soluções de infraestrutura verde, que podem aliar redução do risco e preservação ambiental.

5. Referências bibliográficas

- DASH, P.; SAR, J. 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**, e12620, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12620>.
- GUEDES, R. P.; ARAÚJO, M. P. S.; ANDRADE, A. P. G. Necessidade do gerenciamento dos recursos hídricos em grandes cidades como Recife. **ARCHITECTON - Revista De Arquitetura E Urbanismo**, v. 6, n. 9, p. 107–117, 2021.
- KHIAVI, A. N.; VAFAKHAH, M.; SADEGHI, S. H.; JUN, C.; BATENI, S. M. Comparative effect of traditional and collaborative watershed management approaches on flood components. **Journal of flood risk management**, e13037, 2024. <https://doi.org/10.1111/jfr3.13037>.
- LIMA, A. C. C.; FACCIOLI, G. G.; MEDEIROS, F. C. Creation of a Flood Risk Model for the Jacuípe River Basin (Al/PE) Using the Analytical Hierarchical Process Method – AHP. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 4, e04601, 2024. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-054>.
- MAHMOODI, E.; AZARI, M.; DASTORANI, M. Comparison of different objective weighting methods in a multi-criteria model for watershed prioritization for flood risk assessment using morphometric analysis. **Journal of Flood Risk Assessment**, 16, 2023.
- MITRA, R.; SAHA, P.; DAS, J. Assessment of the performance of GIS-based analytical hierarchical process (AHP) approach for flood modeling in Uttar Dinajpur district of West Bengal, India. Geomatics, **Natural Hazards and Risk**, v. 13, n. 1, p. 2183–2226, 2022. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2112094>.
- PATHAN, A. I.; AGNIHOTRI, P. G.; SAID, S.; PATEL, D. AHP and TOPSIS based flood risk assessment- a case study of the Navsari City, Gujarat, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 509, 2022.
- SILVA, A. C.; JUNIOR, M. A. B. S.; SILVA, P. O.; FREITAS, W. L.; SILVA, M. D.; SIMÕES, G. M.; LIMA, C. R.; CABRAL, J. J. S. P. Impacto da urbanização no escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Jiquiá no Recife-PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10, Belo Horizonte, 2021. [Anais...]. ABRH: Belo Horizonte, 2021.



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

SWAIN, K. C. SINGHA; C.; NAYAK, L. Flood Susceptibility Mapping through the GIS-AHP Technique Using the Cloud. **International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 12, e720, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>

SILVA, M. A. V.; SOARES, W. A.; HOLANDA, M. A. C. R. Aplicação do modelo SWMM para análise de alagamento de túnel urbano na cidade do Recife – PE. **Scientific Journal ANAP**, v. 1, n. 4, 2023.

PANG, B.; YUE, J.; HUANG, Z.; ZHANG, R. Parameter uncertainty assessment of a flood forecasting model using multiple objectives. **Journal of Flood Risk Management**, 12, 2018.

PARISI, S. A.; SOARES, W. A.; ROSA FILHO, C. D.. Análise da capacidade de infiltração para atenuação de alagamento em um ponto crítico na cidade do Recife. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 2, p. 236–249, 2020. <https://doi.org/10.14295/ras.v34i2.29494>.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejió, em Pernambuco, Brasil. **Entorno Geográfico**, n. 26, p. 1-27, 2023.

TOLENTINO, G. M.; SILVA, V. A.; SANTOS, M. S. T.; LISBOA, G. S.; SENA, S. R. Áreas de risco a alagamento e inundação na foz do rio Cachoeira, em Ilhéus (Bahia – Brasil). **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 9, n. 2, 2023.