

AVALIAÇÃO DO PERIGO À INUNDAÇÃO EM TRECHO DO RIO ALMADA NO NÚCLEO URBANO DO MUNICÍPIO DE ITAJUÍPE-BA

Assessment of Flood Hazard Along a Stretch of the Almada River in the Urban Area of Itajuípe, Bahia

Evaluación del riesgo de inundación a lo largo de un tramo del río Almada en el área urbana de Itajuípe, Bahía



Marcos Vinícius Machado de Araújo 

Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
E-mail: profbiomarcosaraujo@gmail.com

Ronaldo Lima Gomes 

Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
E-mail: rlgomes@uesc.br

RESUMO

O município de Itajuípe-Bahia foi atingido por uma grande inundação em 2021 que deixou mais de 60% do seu núcleo urbano submerso, isolando a sua população e interrompendo o abastecimento de água, insumos básicos, serviços e comunicação. Mesmo com inundações recorrentes, a sua sede municipal não possui mapeamento do perigo de inundação. Portanto, o objetivo deste trabalho é mapear áreas com perigo de inundação do Rio Almada em seu trecho urbano no município de Itajuípe, por meio da aplicação do HAND Model (Height Above Nearest Drainage). Para sua execução tem-se como método o processamento das séries históricas da sua estação fluviométrica; caracterização geomorfológica do núcleo urbano; e, a identificação e classificação de sua susceptibilidade com a modelagem do terreno por meio do HAND Model. Como resultado, o presente trabalho identificou nos dados hidrológicos três eventos históricos de inundações ocorridos em 1945, 1981 e 2021, a vazão máxima suportada de 150 m³/s e a cota de extravasamento de 500 cm do canal principal. O estudo geomorfológico da área revelou que Itajuípe está em uma área de fundo de vale com altitudes e declividades do relevo que favorecem a ocorrência de inundações e alagamentos. Por fim, o mapeamento do perigo gerado pelo HAND Model se mostrou uma ferramenta funcional para a delimitação de áreas inundáveis e alagáveis no núcleo urbano de Itajuípe, gerando cinco classes de susceptibilidade a inundação e alagamentos destacando-se que as áreas de muito alto risco e alto risco correspondem a quase metade da área de estudo.

Palavras-chave: HAND Model; Hidrologia; Perigo; Suscetibilidade; Inundações.

Histórico do artigo

Recebido: 27 março, 2026
Aceito: 07 julho, 2026
Publicado: 14 agosto 2026

<https://doi.org/10.33237/2236-255X.2026.7919>



ABSTRACT

The municipality of Itajuípe, Bahia, was hit by a major flood in 2021 that left more than 60% of its urban center submerged, isolating its population and interrupting the supply of water, basic resources, services, and communication. Despite recurring floods, its municipal seat lacks flood hazard mapping. Therefore, the objective of this work is to map the flood hazard distribution of the Almada River in its urban stretch within the municipality of Itajuípe, using the HAND (Height Above Nearest Drainage) model. The methodology employed includes processing historical data from its river gauging station; geomorphological characterization of the urban center; and the identification and classification of its susceptibility through terrain modeling using the HAND Model. As a result, this study identified three historical flood events in the hydrological data, occurring in 1945, 1981, and 2021, with a maximum supported flow of 150 m³/s and an overflow level of 500 cm in the main channel. The geomorphological study of the area revealed that Itajuípe is located in a valley bottom area with altitudes and slopes that favor the occurrence of floods and inundations. Finally, the hazard mapping generated by the HAND model proved to be a functional tool for delineating floodable and inundable areas in the urban center of Itajuípe, generating five classes of susceptibility to flooding and inundations, highlighting that the very high-risk and high-risk areas correspond to almost half of the study area.

Keywords: Hand Model; Hydrology; Hazard; Susceptibility; Floods.

RESUMEN

El municipio de Itajuípe, Bahía, sufrió una gran inundación en 2021 que dejó sumergido más del 60% de su centro urbano, aislando a su población e interrumpiendo el suministro de agua, recursos básicos, servicios y comunicaciones. A pesar de las inundaciones recurrentes, su cabecera municipal carece de un mapeo de riesgo de inundación. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es mapear la distribución del riesgo de inundación del río Almada en su tramo urbano dentro del municipio de Itajuípe, utilizando el modelo HAND (Height Above Nearest Drainage). La metodología empleada incluye el procesamiento de datos históricos de su estación de aforo; la caracterización geomorfológica del centro urbano; y la identificación y clasificación de su susceptibilidad mediante el modelado del terreno utilizando el modelo HAND. Como resultado, este estudio identificó tres eventos históricos de inundación en los datos hidrológicos, ocurridos en 1945, 1981 y 2021, con un caudal máximo soportado de 150 m³/s y un nivel de desbordamiento de 500 cm en el cauce principal. El estudio geomorfológico de la zona reveló que Itajuípe se ubica en el fondo de un valle con altitudes y pendientes que favorecen la ocurrencia de inundaciones. Finalmente, el mapeo de riesgos generado por el modelo HAND demostró ser una herramienta funcional para delimitar las áreas inundables en el centro urbano de Itajuípe, generando cinco clases de susceptibilidad a inundaciones. Se observó que las áreas de muy alto riesgo y alto riesgo corresponden a casi la mitad del área de estudio.

Palabras clave: Modelo de mano; Hidrología; Peligro; Susceptibilidad; Inundaciones.



1 INTRODUÇÃO

As inundações são fenômenos naturais de grande impacto ocorrentes em bacias hidrográficas, em função de suas características físico-ambientais, possuindo natureza incontrollável e inevitável. Logo, naturalmente elas ocorrem em escala global, regional e local, a depender do regime de cheias e da intensidade dos eventos hidrológicos. A complexidade dos inúmeros fatores que atuam nessas áreas e que variam no espaço e no tempo torna, por vezes, o acompanhamento de sua dinâmica e a interpretação de seus processos uma tarefa de natureza multidisciplinar (Alves *et al.*, 2020).

Quando em núcleos urbanos, as características do meio físico associadas à ocorrência de precipitações intensas e concentradas, típicas dos períodos de cheias, somadas aos processos de urbanização e ocupação do solo sem planejamento adequado contribuem para a intensificação dos eventos de inundações e alagamentos culminando em um inevitável desastre natural (Kobiyama *et al.*, 2010).

Assim, os esforços voltados à prevenção e mitigação dos impactos das inundações estão diretamente relacionados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente quando resultam da cooperação entre governos, setor privado e sociedade civil. Segundo a ONU (2025) a Agenda 2030 resulta de acordos feitos para o cumprimento de metas e objetivos que resultem em um planeta cada vez mais sustentável, habitável, pacífico e em equilíbrio. Nesse cenário, a abordagem da temática das inundações dialoga com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030: ODS 1 – Erradicação da Pobreza; ODS 3 – Saúde e Bem-Estar; ODS 6 – Água Potável e Saneamento; ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis; ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima; e, ODS 15 – Vida Terrestre (ONU, 2025).

Dada a sua magnitude e danos causados a sociedade civil, as inundações figuram entre os principais desastres naturais monitorados pelo *The International Disaster Database* (EM-DAT), iniciativa criada em 1988 a partir da cooperação entre o *Center for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) e a *World Health Organization* (WHO). De acordo com essa base de dados, as inundações estão entre os perigos naturais mais frequentes em escala global (CRED, 2025). No Brasil, entre os anos de 2000 e 2022 foram registrados 207 eventos de inundação, o que posiciona o país como um dos mais afetados da América do Sul e entre os que apresentam maior número de ocorrências no mundo (CRED, 2019).

No contexto brasileiro, o estado da Bahia tem sido frequentemente afetado por eventos de chuvas intensas e prolongadas, que desencadeiam enxurradas e inundações,



sobretudo nas regiões sul e extremo sul do estado. Segundo dados da Vigilância em Desastres Naturais (Vigidesastres), vinculada ao Centro de Informações Estratégicas em Vigilância em Saúde (CIEVS, 2022), os eventos mais recentes de cheias ocorreram nos anos de 2021 e 2022, resultando em estados de calamidade pública, vítimas, perdas sociais expressivas e danos à infraestrutura urbana que ultrapassaram dezenas de milhões de reais.

Inserido na Bacia do Leste, no sul da Bahia, o município de Itajuípe com aproximadamente 18.781 habitantes destaca-se por ter seu núcleo urbano severamente impactado pelas inundações de 2021 e pelas enxurradas e alagamentos registrados em 2022 (CIEVS, 2022). De acordo com informações divulgadas pela prefeitura municipal, aproximadamente 60% da área urbana foi afetada, isolando a população local e tornando-a dependente de bens e serviços provenientes de municípios vizinhos. O mesmo não possui demarcação histórica de inundações e nem mapeamento do perigo à inundação do seu núcleo urbano, entretanto, relatos de moradores apontam ao menos quatro grandes inundações históricas (SNIS, 2022).

Em consonância com esse panorama, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em seu Diagnóstico sobre Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – DMAPU (2022), aponta que mais da metade dos municípios brasileiros não dispõe de mapeamento de risco à inundação. Esses municípios, em sua maioria, caracterizam-se por pequeno porte populacional (até 20 mil habitantes) e pela ausência de uma gestão efetiva de riscos associados a inundações.

Este trabalho tem como objetivo mapear áreas com perigo de inundação do Rio Almada em seu trecho urbano no município de Itajuípe, por meio da aplicação do HAND Model (*Height Above Nearest Drainage*). Como objetivos específicos, propõe-se: (i) analisar a área em estudo com relação as suas formas de relevo favoráveis ou não a ocorrência de inundações e alagamentos; (ii) analisar o comportamento hidrológico do Rio Almada a partir de dados secundários e da consolidação da base cartográfica; (iii) mapear as áreas suscetíveis a inundações e alagamentos no núcleo urbano de Itajuípe, por meio da aplicação do HAND Model.

O município de Itajuípe enquadra-se nesse contexto tanto no seu perfil de pequeno porte apontado pelo SNIS (2022), quanto apresentando fatores que limitam a gestão do risco e a tomada de decisão, tais como a ausência de base planialtimétrica em escala de detalhe, a inexistência de mapeamento de risco à inundação e a ocupação urbana



desordenada, associada às suas características físico-naturais apontados por Graciosa e Mediondo (2007) Manz (2021) e Oliveira *et al.* (2018).

Portanto, essas limitações configuram-se como elementos decisivos no planejamento e na adoção de estratégias para o enfrentamento do problema das inundações, podendo ser superadas com o seu mapeamento do perigo à inundação e a delimitação de suas áreas inundáveis e alagáveis.

2 AS INUNDAÇÕES E SUA GESTÃO EM PEQUENOS NÚCLEOS URBANOS

As mudanças climáticas, cada vez mais intensas, sobretudo a partir do século XXI, têm provocado a ocorrência de eventos climáticos extremos nas cidades. Nesse contexto, o planeta Terra enfrenta uma crise climática sem precedentes que tem gerado desastres naturais diversos como inundações recorrentes, desertificação, perda de biodiversidade, ondas de calor, escassez de chuvas, secas prolongadas e outras alterações significativas no clima (Silva; Leite, 2020).

Segundo o Ministério do Desenvolvimento Regional (2018), um desastre natural decorre do impacto de um fenômeno natural de grande intensidade sobre uma área ou região povoada, podendo a atividade antrópica agravá-lo ou não. Logo, um desastre pode ser decorrente da transformação e do crescimento da sociedade, do modelo de desenvolvimento adotado e dos fatores socioambientais relacionados aos hábitos de vida que produzem vulnerabilidades sociais e, por conseguinte, vulnerabilidade ao desastre.

De acordo com a Confederação Nacional de Municípios (CNM) (2024), conforme a forma do início da sua ocorrência os desastres podem ser classificados em súbitos ou graduais. Os desastres denominados como súbitos estão relacionados com o desencadeamento de eventos adversos derivados de tempestades e ciclones. O seu início abrupto desencadeia enchentes, inundações, alagamentos, enxurradas e deslizamentos, em sua maioria, resultando em danos imediatos ou de evolução rápida.

Os desastres graduais, passam por uma escala de evolução com agravamento lento e progressivo de um evento adverso. A seca e a estiagem se enquadram nesta categoria, pois, resultam em danos crescentes, uma vez que ao longo do tempo podem comprometer o abastecimento de água potável para o consumo humano e animal, e, assim, causar prejuízo a agricultura, agropecuária e ao agronegócio em geral (CNM, 2024).

Dentre os desastres naturais supracitados, as inundações caracterizam-se pela submersão de áreas em períodos de cheias, que elevam o nível de um rio e provocam o



seu extravasamento, ocupando regiões adjacentes conhecidas como planícies de inundação. Para a adequada compreensão desse fenômeno, torna-se necessária sua distinção em relação aos alagamentos, os quais ocorrem, especialmente em áreas urbanas, em função da superação da capacidade ou da obstrução dos sistemas de drenagem, resultando no acúmulo temporário de água (CPRM, 2021).

As inundações ribeirinhas, decorrentes do aumento das vazões fluviais, principalmente, em períodos de cheias, são desencadeadas por precipitações ocorridas ao longo da bacia hidrográfica, intensificando o escoamento superficial que direcionado aos canais de drenagem, pode causar o seu transbordamento. Contudo, a resposta hidrológica de uma bacia a um evento de precipitação não é linear, sendo influenciada por outros fatores. Além disso, em bacias de grande extensão, as cheias observadas em determinado ponto podem estar relacionadas tanto à distribuição espacial heterogênea das chuvas quanto às vazões elevadas de seus afluentes (Pontes *et al.*, 2017).

No âmbito das bacias hidrográficas, é recorrente a ocupação das áreas adjacentes aos canais de drenagem, correspondentes às planícies de inundação. Historicamente, os núcleos urbanos desenvolveram-se às margens dos rios, uma vez que estes desempenham papel fundamental como fonte de subsistência e suporte às atividades antrópicas. Neste contexto, as inundações ribeirinhas tornam-se eventos frequentes nesses espaços, resultando na submersão das áreas urbanas pelo extravasamento do canal principal em direção ao leito maior.

De modo geral, os eventos de inundação tendem a ser intensificados nos núcleos urbanos, em razão das características inerentes ao processo de urbanização. Nessas áreas, a redução da infiltração no solo, o aumento do escoamento superficial, a compactação e impermeabilização do terreno, aliadas à inadequação das redes de drenagem, contribuem para a elevação das vazões médias e máximas. Quando esses fatores se associam à ocorrência de precipitações com elevado tempo de recorrência, há maior propensão à geração de cheias mais intensas e recorrentes, e inundações (Farias; Gomes, 2023).

Assim, pequenos núcleos urbanos localizados às margens de rios são particularmente suscetíveis às inundações. Em razão de seu elevado potencial destrutivo, esses eventos impactam de forma significativa tais localidades, sobretudo porque, em muitos casos, a atuação dos gestores públicos ocorre de maneira pontual e corretiva, em detrimento de ações preventivas (SNIS, 2022). Como consequência, observa-se a escassez de informações e de instrumentos técnicos de análise, tais como dados



hidrológicos, mapeamento de áreas de risco, bases planialtimétricas em escala de detalhe e dados altimétricos adequados (Oliveira *et al.*, 2018).

Portanto, considerando não apenas os danos materiais e os prejuízos financeiros impostos à população, mas também a necessidade de tomada de decisão eficaz, torna-se fundamental a adoção de técnicas adequadas para a gestão do risco. Graciosa e Mediondo (2007) destacam que a gestão do risco de inundação se estrutura em quatro fases: prevenção, resposta, recuperação e mitigação, as quais, segundo Manz (2021), devem ser compreendidas de forma integral e integrada. Para tanto, os pequenos núcleos urbanos precisam partir da compreensão e diagnóstico do fenômeno, por meio do mapeamento do risco de inundação e da identificação das áreas de perigo, a fim de subsidiar a elaboração de planos de gestão. Entre 1990 e 2015, os eventos de inundação registrados no Brasil corresponderam a aproximadamente 25% do total mundial, evidenciando a relevância do tema no contexto nacional (Silva Júnior *et al.*, 2022).

Para compreender a exposição desses núcleos urbanos às inundações é necessário, primeiramente, definir e compreender o conceito de perigo, vulnerabilidade e risco associado a ocorrência do evento. O perigo está relacionado aos elementos do meio físico que tornam uma determinada área naturalmente suscetível à ocorrência de fenômenos naturais. Assim, em áreas com predisposição natural a desastres, a introdução de atividades antrópicas e o processo de urbanização tendem a potencializar os efeitos do perigo (Farias *et al.*, 2024).

A vulnerabilidade é entendida a partir da ocupação de áreas naturalmente suscetíveis por moradias com infraestrutura inadequada ou precária representando uma insegurança social. Por sua vez, identificado o perigo da área e a vulnerabilidade da população compreende-se o dano. O dano resulta da magnitude do impacto, ou seja, do seu potencial de destruição em diferentes escalas, ele é caracterizado, no contexto das inundações, pela delimitação das áreas inundáveis seguida da compreensão da sua lâmina d'água (profundidade) e da mancha de inundação (sua extensão) (Hora; Gomes, 2009).

Por fim, a exposição ao risco se obtém pela equação entre o perigo, a vulnerabilidade e o dano. Logo, o risco é definido pela interação dos elementos físicos e naturais, dos elementos sociais e dos impactos negativos da sua ocorrência. O mapeamento do risco de inundações se constitui em uma etapa fundamental de diagnóstico de áreas inundáveis para um ordenamento territorial estratégico e uma gestão de risco de inundações efetiva (Dias; Júnior; Pimentel, 2015).



No que se refere às inundações, Alves (2018) aponta que esses eventos decorrem de um perigo inerente associado à intensidade das chuvas, à tipologia do relevo, às características do substrato geológico e à presença ou ausência de cobertura vegetal. De forma sintética, o perigo de inundação relaciona-se principalmente à extensão da área inundada e às suas características hidrológicas e hidráulicas, como profundidade e velocidade do escoamento (Fernandez *et al.*, 2015).

Segundo Farias *et al.* (2024), a representação espacial do perigo pode ser obtida por meio de produtos cartográficos derivados da aplicação de modelos hidrológicos, hidráulicos e de modelagem de superfície. Esses modelos, quando alimentados com dados adequados, permitem simular a transformação da precipitação em escoamento superficial, possibilitando a delimitação da mancha de inundação, bem como a estimativa da altura da lâmina d'água e da velocidade do fluxo nas áreas inundadas.

Nesse contexto, destaca-se, para a modelagem de superfície aplicada à predição de inundações, o método desenvolvido por Nobre *et al.* (2015) sob a coordenação de Cuartas *et al.* (2012) denominado HAND Model (*Height Above Nearest Drainage*). Esse método tem sido amplamente utilizado em razão de sua simplicidade operacional e da confiabilidade dos resultados, conforme evidenciado nos estudos de Mengue *et al.*, (2016), Goerl *et al.*, (2017), Speckhann (2015), Dantas e Canil (2017), Milanesi, Quadros e Lahm (2017), Conceição e Simões (2021), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (2023) Pinheiro (2024) e Mantovani *et al.*, (2025).

O HAND Model surgiu da necessidade de normalizar arquivos digitais topográficos, corrigindo erros comuns associados à presença de depressões artificiais em Modelos Digitais de Elevação (MDE). O método calcula a altura relativa de cada ponto do terreno em relação ao ponto mais próximo da rede de drenagem, permitindo a identificação de áreas potencialmente suscetíveis à inundação. Sua aplicação é versátil, abrangendo desde grandes bacias hidrográficas até regiões com escassez de dados hidrológicos, sendo amplamente empregado no planejamento urbano, no mapeamento de risco e na resposta a desastres naturais (Rennó *et al.*, 2008; Nobre *et al.*, 2011b; Momo *et al.*, 2016).

Em função de sua adequação e rapidez de aplicação, o HAND Model tem sido amplamente utilizado no mapeamento do terreno, possibilitando a classificação de unidades hidrologicamente homogêneas. No âmbito do mapeamento preditivo do risco hidrológico, o modelo permite a geração de contornos vetoriais normalizados pela drenagem, indicando zonas ilustrativas de risco de inundação. Dessa forma, constitui uma



ferramenta eficiente para a identificação rápida de áreas suscetíveis a inundações e alagamentos (Nobre *et al.*, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 A área de estudo

A área estudada neste trabalho corresponde a um polígono de 9,72 km² que abrange a sede municipal de Itajuípe-BA, localizada aproximadamente a 419 km de Salvador, capital do estado da Bahia. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), o município de Itajuípe possui 18.781 habitantes e uma área territorial total de 270,75 km². A população é predominantemente urbana, com 14.724 habitantes (78%) residentes na zona urbana e 4.057 habitantes (22%) na zona rural. O município está integralmente inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Almada - BHRA (Figura 1).

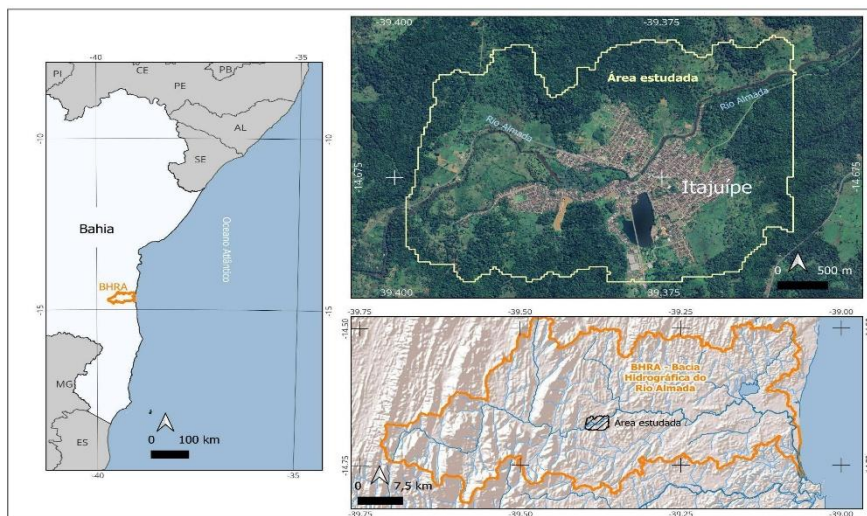
A Bacia Hidrográfica do Rio Almada está inserida na Região Hidrográfica Atlântico Leste e possui uma área de aproximadamente 1.570 km². Deste total, cerca de 23% são ocupados por pastagens, solos expostos e áreas urbanas; 18% correspondem a remanescentes de Mata Atlântica e manguezais; 54% são cobertos por cabruca (cultivo de cacau) e 3,9% por superfícies aquáticas e áreas úmidas (GOMES, 2013).

O Rio Almada tem suas nascentes mais distantes localizadas nas serras do município de Almadina e percorre cerca de 138 km até sua foz, situada na zona norte da cidade de Ilhéus-BA. Seus principais afluentes da margem direita incluem o Rio do Braço, o Ribeirão do Boqueirão e o Riacho Sete Voltas, enquanto da margem esquerda destacam-se o Rio São José e os Riachos de Jussara e Braço Norte. A cidade de Itajuípe situa-se às margens do canal principal do Rio Almada, em seu trecho médio (Figura 1).

O clima predominante na região é classificado como Tropical Chuvoso Selva Isotérmico (Afi), apresentando precipitação média anual de aproximadamente 1.780 mm e temperatura média de 22,9 °C (BAHIA, 2001). A rede de drenagem da bacia hidrográfica apresenta densidade aproximada de 1,56 km/km², com dois padrões distintos: treliça na porção oeste e dendrítico no restante da bacia.



Figura 01 - Área em estudo, trecho urbano do município de Itajuípe-BA.



Fonte: os autores (2026).

3.2 O método adotado

Para atingir os objetivos propostos, o método adotado inicia-se com atividades voltadas ao entendimento do problema das inundações na área em estudo, a partir da análise de atributos das formas de relevo, como hipsometria e declividade, e comportamento hidrológico do Rio Almada.

A análise das formas de relevo foi obtida a partir da manipulação, em ambiente de sistemas de informações geográficas, de modelo digital de elevação (MDE). Nesta pesquisa, foram utilizados dados do MDE obtidos pelo sensor remoto *Copernicus* GLO-30, mais precisamente a derivação FABDEM (Hawker *et al.*, 2022), com resolução de 30 metros, disponibilizados gratuitamente pelo *plugin LF Tools* do QGIS (Figura 2).

Este modelo, o FABDEM (*Forest And Buildings removed Copernicus DEM*), possui cobertura global e se destaca por remover artificialmente a vegetação e as edificações dos dados originais. É considerado superior a modelos tradicionais como o SRTM para aplicações que exigem precisão do terreno real, como modelagem de inundações. O arquivo *raster* foi manipulado em ambiente de SIG QGIS versão 3.30, permitindo o recorte da área em estudo.

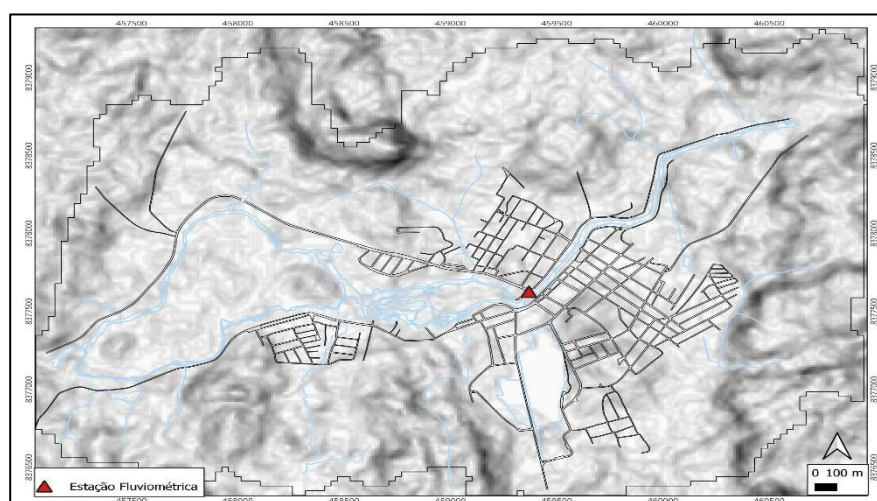
Tanto as classes de hipsometria, quanto às classes de declividade da área em estudo foram obtidas com a aplicação no MDE de ferramentas *raster* do software QGIS.

Para a análise dos dados hidrológicos, esta foi realizada por meio de informações secundárias obtidas em pesquisas anteriores na região (no prelo), bem como pela análise



de dados primários provenientes das séries históricas de vazões e cotas registradas no Rio Almada pela estação fluviométrica de Itajuípe (código 5305000), operada pela Agência Nacional de Águas - ANA, instalada na travessia da ponte no bairro centro da sede municipal com processamento por meio dos sistemas Hidroweb e Hidro 1.4 da entidade citada anteriormente (Figura 02).

Figura 02 - Modelo Digital de elevação da área em estudo obtido a partir dos dados FABDEM e localização da estação fluviométrica.



Fonte: os autores (2026).

As informações disponíveis no portal Hidroweb (ANA, 2024) foram processadas utilizando os softwares Hidro 1.4 (ANA, 2001) e SisCAH 1.0 (SOUSA *et al.*, 2009), com o objetivo de obter conhecimentos sobre vazões médias mensais, vazões médias anuais e vazões máximas da série histórica. Análises mais detalhadas sobre os dados hidrológicos da estação e seus reflexos no entendimento das inundações na área podem ser consultadas em Araújo e Gomes (no prelo).

Na segunda etapa, o método adotado concentra-se no mapeamento do perigo (susceptibilidade) a inundações na área em estudo, por meio da aplicação do HAND Model – *Height Above Nearest Drainage* (altura acima da drenagem mais próxima), desenvolvido por Cuartas *et al.* (2012) e Nobre *et al.* (2011a; 2015). Este modelo estima a altura relativa de cada ponto do terreno em relação ao ponto mais próximo da rede de drenagem, sendo aplicável desde extensas bacias hidrográficas até regiões com dados hidrológicos escassos, mostrando-se útil para planejamento urbano, mapeamento de risco e resposta a desastres (Rennó *et al.*, 2008; Nobre *et al.*, 2011b; Momo *et al.*, 2016).



O HAND Model se mostrou um processo pertinente tendo em vista que o núcleo urbano do município de Itajuípe-BA não possui base cartográfica em escala de detalhe, limitando assim as possibilidades de modelagens hidrológicas pela baixa disponibilidade de dados, entretanto, este *software* do INPE exige baixa entrada de dados para processamento da modelagem.

Assim, obtido o MDE da superfície do terreno do núcleo urbano com precisão de 30 m por pixel derivado de radares gratuitos foi possível extrair o *raster* HAND. Observa-se que quanto menos detalhes topográficos, menor será a precisão na análise do terreno e modelagem. De modo que possa limitar os resultados, entretanto, no caso deste presente trabalho, o HAND se mostrou eficaz ao delimitar as áreas inundáveis quando validado com os registros históricos das áreas inundadas em Itajuípe.

Observa-se que para estudos com maior precisão e diversidade de informações faz se necessária a disponibilidade de bases cartográficas com maior acurácia. Com o HAND foi possível compreender o perigo, a classificação e a delimitação das áreas inundáveis e alagáveis, entretanto, modelagens hidrológicas que simulem diferentes cenários de inundações quanto a sua lâmina d'água e mancha de inundação em diferentes contextos de variações de vazões e precipitações ainda é limitado para compreender o dano, a vulnerabilidade e o risco.

O arquivo *raster* HAND gerado foi exportado e reclassificado no *software* QGIS em classes de risco representativas da suscetibilidade a inundação adotadas neste trabalho para o núcleo urbano de Itajuípe, a saber: Muito Alta (0m a 1 m), Alta (1m a 2m), Média (2m a 5m), Baixa (5m a 10m), Muito Baixa (> 10m).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aspectos das formas de relevo e hidrologia da área em estudo e sua contribuição para o entendimento do evento de inundação

O estudo do relevo da área em estudo, representado a partir das características hipsométricas e de declividade, permite a compreensão da predisposição da superfície em escoar ou acumular as águas em épocas de cheias. Os valores de hipsometria variam de 79,8 a 158,7 m, estando o valor menor associado à calha do Rio Almada em seu extremo de jusante na área em estudo. Por outro lado, a cota máxima de altitude localiza-se nos morros mais elevados, situados ao norte da área.

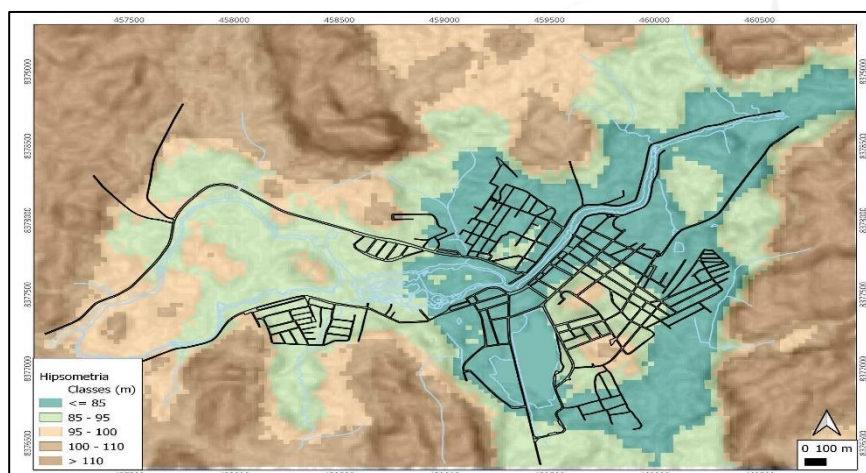


Ao observar a distribuição das altitudes no mapa hipsométrico (Figura 3), depreendeu-se que as baixas altitudes correspondem a vales fluviais pelo qual o canal do Rio Almada, e a rede de drenagem local, se estabelecem, bem como se distribui o núcleo urbano do município. Identifica-se, dessa forma, que a sede municipal de Itajuípe, em sua grande parte, se desenvolveu nas altitudes mais baixas do terreno, abaixo da cota 85m, salvo a existência de duas áreas elevadas localizadas nos bairros de Centro e Nova Itajuípe. Está notável na figura 3 que a cota de 85 m, ou seja, das altitudes mais baixas, dá a paisagem características de uma depressão quando comparada as outras cotas elevadas, assim, delimita e evidencia uma forma de relevo que, naturalmente, retém e concentra as águas superficiais no núcleo urbano.

Na análise de declividade do terreno (Figura 4), os valores encontrados variam de 0 até 33,8 graus, que indica que a sede municipal de Itajuípe possui pouca variação na inclinação do relevo, onde as áreas de maior declividade associam-se às encostas das elevações de morros e as de menor declividade as baixas elevações e fundos de vale.

No núcleo urbano a inclinação do terreno varia entre 1,7 a 4,6 graus, essa baixa inclinação naturalmente diminui a energia cinética das águas o que favorece o seu acúmulo pela baixa velocidade do escoamento superficial. No núcleo urbano de Itajuípe as inclinações a partir de 4,6 até 24,2 graus correspondem a localização da Igreja Sagrado Coração de Jesus, que em épocas de ocorrência de inundações, por ocupar uma área elevada, serve como abrigo as vítimas das cheias.

Figura 03 - Classes de Hipsometria da área em estudo.

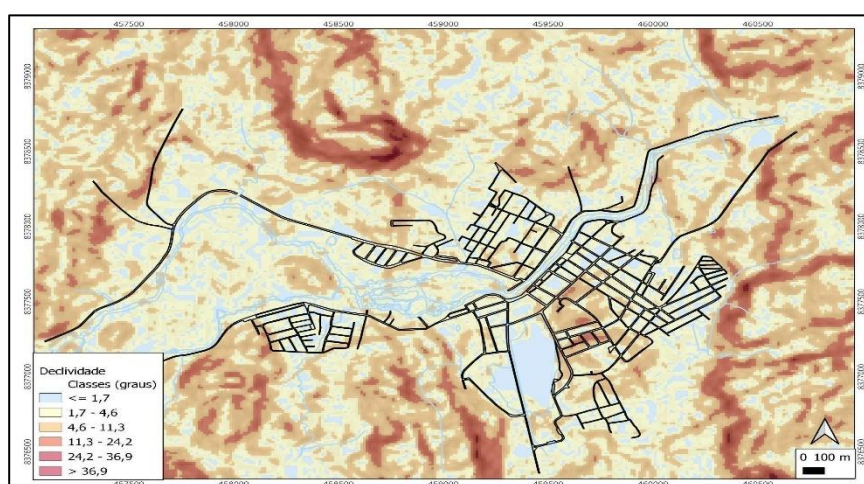


Fonte: os autores (2026).



De acordo com a classificação da Embrapa (1979), que classifica o relevo em função de suas declividades, mais especificamente, neste caso, a ocorrência de áreas de relevo plano como sendo aquelas de declividades iguais ou inferiores a 4,6 graus, nota-se na Figura 04 a distribuição destas áreas planas no entorno da drenagem principal do Rio Almada e em áreas adjacentes. Portanto, a baixa inclinação do terreno do centro urbano reduz a energia de escoamento das águas e favorece a ocorrência de inundações em períodos de cheia.

Figura 04 - Classes de declividade da área em estudo.



Fonte: os autores (2026).

Com relação ao comportamento hidrológico do Rio Almada, obtido a partir da análise dos dados da estação fluviométrica Itajuípe, a vazão média mensal anual do rio é de $8,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Os meses compreendidos entre novembro e abril apresentam as maiores vazões médias mensais, com destaque para novembro com $10,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e dezembro com $13,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Em contraste, os meses de maio a outubro apresentam as menores vazões médias mensais, sendo setembro o mês com o menor valor registrado de $5,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Ao analisar as médias mensais das vazões máximas, verifica-se comportamento semelhante, com novembro ($42,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e dezembro ($47,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) com destaque por serem os meses de maiores valores registrados. Historicamente, o mês de dezembro concentra as cheias mais intensas, portanto, apresenta maior probabilidade de ocorrência de inundações na área em estudo.



Por outro lado, as médias mensais das vazões mínimas indicam que os meses de janeiro ($1,83 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e outubro ($1,84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) correspondem aos períodos de menor vazão do Rio Almada.

Com relação às variações das vazões médias anuais ao longo do período analisado, tem-se que em 79 anos de observação 43 anos foram mais secos e 36 anos mais chuvosos, quando comparados com o valor da média mensal anual de $8,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Quanto às vazões máximas registradas, para a identificação de inundações históricas em Itajuípe, valores superiores a $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ são considerados vazões extremas, capazes de provocar inundações no núcleo urbano devido à elevação do nível do rio e consequente aumento da lâmina d'água.

Dentre os anos de maior destaque, encontram-se 1945, 1947, 1980, 1981, 2014 e 2021, sendo que os registros históricos de inundações no núcleo urbano ocorreram especialmente nos anos de 1947 e 1981. Por exemplo, no dia 30 de novembro de 1947, a vazão do Rio Almada atingiu $267 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, valor aproximadamente 30 vezes superior à média mensal anual de $8,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, evidenciando a magnitude do evento e seu potencial destrutivo para a cidade.

Com relação à enchente de 2021, os dados disponíveis no portal Hidroweb (ANA) indicam que, durante o mês de dezembro de 2021, o Rio Almada apresentou dois picos de vazão, sendo o segundo responsável pelo extravasamento do canal. O primeiro pico ocorreu em 10/12/2021, com vazão de $151,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, elevando o nível do rio. O segundo pico ocorreu em 24/12/2021, com vazão de $153,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A cota máxima da lâmina d'água, 604 cm, foi atingida em 26/12/2021, embora a vazão correspondente não tenha sido registrada. A estação de Itajuípe retomou a medição das vazões apenas em 28/12/2021, quando o nível do rio havia recuado para 400 cm, com vazão de $153 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, indicando que a estação interrompe a medição acima da cota de 400 cm.

Quanto às cotas atingidas, a série histórica da estação fluviométrica mostra que uma vazão média anual de $8,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ corresponde a uma cota de 74 cm acima do leito do rio. Com o aumento das vazões, cotas mais elevadas são alcançadas. Para referência histórica, destacam-se as inundações de 1947 com cota de 567 cm, vazão de $267 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 1981 com cota de 507 cm, vazão de $226 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 2021 com cota de 604 cm, vazão superior a $153,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Na seção transversal da estação, o canal do Rio Almada é limitado por muros de arrimo que se estendem até a cota 500 cm. Portanto, no núcleo urbano, o extravasamento



ocorre quando a lâmina d'água ultrapassa esse limite, como ocorreu nas inundações de 1947, 1981 e 2021. Ressalta-se que a cota de 500 cm corresponde à elevação de 82,62 m em relação ao terreno local.

A distribuição na área em estudo dos limites das cotas estimadas que representam a cota de extravasamento do canal na seção da estação fluviométrica (83 m) está representada na Figura 5. Estima-se que a cota atingida pelas inundações de 2021 seja 84 m com estimativa do alcance da cota de 2 m acima da cota de extravasamento do canal. A tabela 1 traz um panorama geral dos dados das séries históricas da Estação Itajuípe.

Tabela 01 – Comportamento hidrológico do Rio Almada a partir das suas vazões.

Vazão média mensal anual	Meses com maiores vazões médias mensais	Menores vazões médias mensais	Médias mensais das vazões máximas	Médias mensais das vazões mínimas	Vazão máxima registrada	Reconhecime nto de inundações pelos registros da estação fluviométrica
8,34 m ³ · s ⁻¹	Novembro (10,4 m ³ · s ⁻¹) e dezembro (13,8 m ³ · s ⁻¹)	De maio a outubro. Setembro com o menor valor registrado de 5,25 m ³ · s ⁻¹ .	novembro (42,7 m ³ · s ⁻¹) e dezembro (47,6 m ³ · s ⁻¹)	janeiro (1,83 m ³ · s ⁻¹) e outubro (1,84 m ³ · s ⁻¹)	30 de novembro de 1947 com 267 m ³ · s ⁻¹	1947 com cota de 567 cm, vazão de 267 m ³ · s ⁻¹ ; 1981 com cota de 507 cm, vazão de 226 m ³ · s ⁻¹ ; 2021 com cota de 604 cm, vazão superior a 153,2 m ³ · s ⁻¹ .

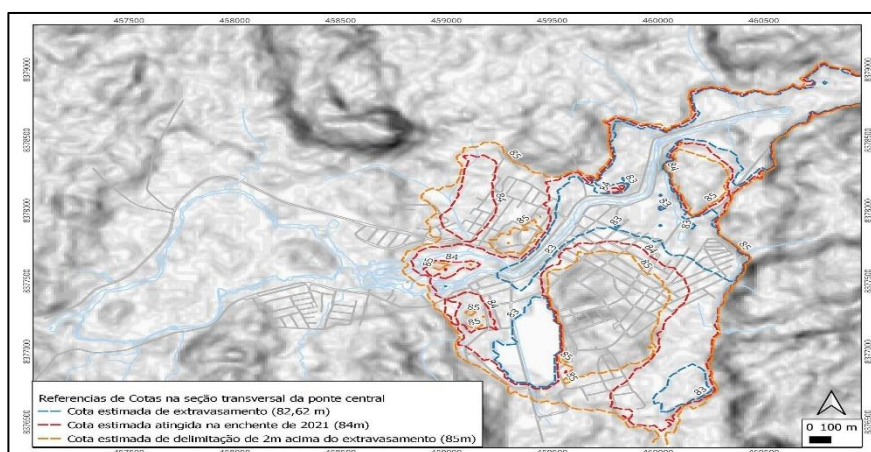
Elaboração: os autores.

Ao romper a cota 83 m o fluxo de água tende a ocupar as porções das margens do canal principal no trecho central da cidade e extrapolar para áreas mais amplas a jusante.



Já a cota 84m, associada ao nível da água atingida pela inundação da enchente de 2021, distribui-se em áreas planas da cidade envolvendo as porções elevadas de morros do centro. Nesta ocasião já pode ocorrer a conexão entre o nível d'água da Lagoa Humberto Badaró com o canal principal do Rio Almada. Por sua vez, o nível da cota 85 m delimita a zona rebaixada do cenário geomorfológico em que se encontra o centro urbano, delimitando áreas que podem ser atingidas em eventos extremos.

Figura 05 - Cotas estimadas referentes a seção transversal da ponte central da área em estudo.



Fonte: os autores (2026).

Por fim, os dados históricos da estação permitem, ainda, compreender o comportamento das vazões do Rio Almada em que os registros consistidos (confiáveis) estão disponíveis. Isso possibilita a identificação de tendências de cheias e secas, bem como a comparação de anos com vazões máximas, permitindo reconhecer períodos críticos e eventos de inundação.

A análise das vazões mínimas, médias e máximas, conforme Farias e Gomes (2023), é essencial para o entendimento e monitoramento do recurso hídrico, o planejamento do uso racional da água e a tomada de decisão em eventos extremos, contribuindo para estratégias de prevenção e mitigação de inundações.

4.2 Aplicação do HAND Model na área em estudo

Sobre a distribuição das classes de perigo à ocorrência de inundações elaborada a partir da aplicação do HAND Model na área em estudo, a figura 6 nos traz um panorama sobre o risco da ocorrência de inundações a partir da delimitação das áreas inundáveis e



alagáveis que variam desde muito alta suscetibilidade, alta suscetibilidade, média suscetibilidade, baixa suscetibilidade e a muito baixa suscetibilidade.

Os valores atribuídos às classes Hand representam a elevação de cada ponto do terreno em relação ao canal de drenagem mais próximo. Dessa forma, a classe classificada como Muito Alta corresponde às áreas com elevação de até 1 metro acima da cota do canal de drenagem mais próximo, sendo, portanto, as mais suscetíveis às inundações e alagamentos. Em contrapartida, as áreas enquadradas na classe de Baixo perigo apresentam elevações entre 5 e 10 metros em relação aos canais de drenagem mais próximos, podendo ser atingidas apenas por eventos de cheias ou inundações históricas de maior magnitude. Do total de 9,72 km² da área estudada, 1,29 km² correspondem à classe de Muito Alta suscetibilidade, 0,81 km² à Alta, 1,96 km² à Média, 1,68 km² à Baixa e 4,02 km² à Muito Baixa suscetibilidade.

As diferentes classes de suscetibilidade abrangem toda a sede municipal de Itajuípe, estendendo-se por quase todos os seus bairros (Figura 6 e 7). A ocupação urbana desenvolve-se, predominantemente, ao longo das margens do rio Almada e em áreas de baixada, fatores que, associados à declividade do terreno e às variações topográficas, aumentam a vulnerabilidade da área.

A ocupação as margens do Rio Almada (Figura 6) traz um perigo potencial a população que ali reside, pois estas áreas representam risco muito alto de suscetibilidade. Não obstante, o ordenamento territorial se faz uma ferramenta estratégica para a gestão do risco de inundações pelo viés que, segundo Ashley *et. al.* (2005) e Tucci (2012), ele associado a drenagem urbana constitui um dos principais pilares para gestão moderna de inundações de forma integrada e integral. Logo, faz se necessário refletir sobre a distribuição dos riscos e não somente no controle das águas urbanas (UNDRR, 2022).

Logo, para uma gestão do risco de inundações que esteja para além da atuação na fase de resposta e aborde um panorama geral da ocorrência do desastre natural é necessário pensar no antes, durante e depois do evento. Portanto, a urbanização as margens do Rio Almada não somente traz impactos ambientais ao rio, mas também, a sociedade civil em geral.

Posto isto, a constatação de que medidas como o Plano Diretor Municipal, Zoneamento Urbano, Zoneamento Ambiental, Plano Municipal de Redução de Riscos, Cartas geotécnicas e hidrológicas e o mapeamento de áreas suscetíveis a inundação não foram implementadas e nem executadas, assim, tornou e torna o crescimento urbano de



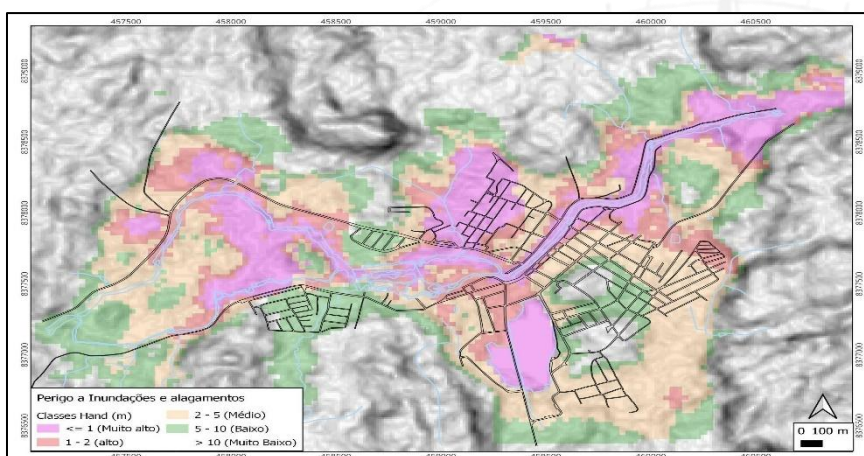
Itajuípe um fator de aumento da exposição ao risco de inundações à população (Tucci, 2012).

O fato de Itajuípe não possuir mapeamento de áreas de risco (SNIS, 2022) e não disponibilizar de dados topográficos fundamentais, mesmo com registros históricos de inundações, não subsidia a tomada de decisão. O mapeamento de áreas de risco à inundação representa a ação fundamental necessária quando da ocorrência do desastre natural, pois é dele que parte o diagnóstico da área. Por meio dele é possível garantir o direcionamento do crescimento urbano para áreas seguras e restringir a ocupação de áreas de planícies fluviais e várzeas e executar demais políticas públicas ambientais e urbanas (Dias; Júnior; Pimentel, 2015). A imagem obtida por satélite da figura 7 mostra o processo de urbanização desordenado com ocupação as margens do rio sem qualquer forma de realocação dos moradores.

A delimitação das áreas inundáveis mostra a extensão da área que as inundações podem chegar, por conseguinte, a figura 7, apresenta quatro classes de variação da lâmina d'água: Muito Alta, Alta, Média e Baixa. A variação da lâmina d'água nos revela as zonas em que as águas das inundações são mais profundas e, portanto, representam um maior dano e perigo a população (Hora; Gomes, 2009).

As classes Muito Alta e Alta se estendem por todo o percurso do corpo d'água com expansão para além das margens. Destaca-se que a classe Muito Alta se estende para além das margens do Rio Almada e ocupa mais da metade do bairro Nova Itajuípe, enquanto que a classe Alta está associada a Lagoa Humberto Badaró expandindo-se sentido as moradias adjacentes.

Figura 06 - Distribuição das classes de suscetibilidade às inundações no núcleo urbano de Itajuípe-BA.

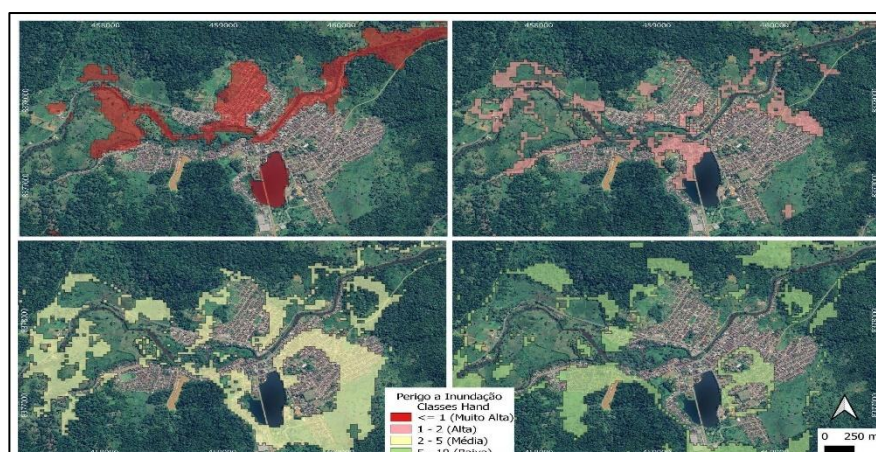


Fonte: os autores (2026).

Durante períodos de cheias mais intensas, a presença de uma rede de drenagem natural que atravessa os bairros potencializa a ocorrência de desastres naturais e seus impactos. Nessas circunstâncias, como observado em 2021, alguns bairros podem ficar isolados em razão da intransitabilidade das vias, causada pela submersão de pontes e trechos rodoviários.

O bairro Nova Itajuípe, localizado à margem esquerda do rio Almada, encontra-se parcialmente inserido em áreas classificadas como de Alta e Muito Alta suscetibilidade, embora apresente alguns trechos com maiores elevações do terreno. De acordo com relatos dos moradores, durante os eventos de inundação a lâmina d'água atingiu aproximadamente 1,80 m de profundidade, submergindo diversas residências e ocasionando expressivas perdas materiais, além de deixar inúmeros moradores desalojados.

Figura 7 - Zoneamento de suscetibilidade às inundações com quatro classes de lâmina d'água.



Fonte: os autores (2026).

As áreas mais elevadas foram apontadas como os poucos locais não alcançados pelas águas, destacando-se o centro comercial de abastecimento, conhecido como “feirinha”. Nesse bairro, observa-se que o acúmulo de água não decorre predominantemente de inundações fluviais, mas sim de alagamentos urbanos, possivelmente associados à obstrução e à ineficiência das redes de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário.

Destaca-se que as inundações no núcleo urbano de Itajuípe nem sempre estão diretamente associadas ao Rio Almada, em virtude da presença de elevações topográficas



que atuam como barreiras naturais à propagação das águas. Assim, o acúmulo hídrico observado em determinados pontos dos bairros pode ser associado a alagamentos pontuais, relacionados, sobretudo, à deficiência da rede de drenagem de águas pluviais.

A partir do estudo hidrológico realizado com dados consistentes da estação Itajuípe, constatou-se que o transbordamento do canal ocorre quando a lâmina d'água atinge aproximadamente 500 cm. Após o processamento do perfil transversal do núcleo urbano de Itajuípe, obtido a partir do *raster* HAND, os resultados mostraram-se coerentes com os dados hidrológicos, uma vez que, nos eventos de inundação, as águas alcançam a cota de 5 m no canal principal.

A pixelização observada nas imagens decorre da baixa disponibilidade de dados topográficos detalhados do núcleo urbano, como, por exemplo, uma malha planialtimétrica em escala adequada em acordo com as observações de limitação de dados em pequenas cidades apontadas por Oliveira *et al.* (2018). Conforme destacado por Hu e Demir (2021), o HAND Model é especialmente indicado para ambientes com escassez de dados e informações. Ressalta-se, entretanto, que o processamento foi realizado com êxito, uma vez que as áreas inundáveis e alagáveis de Muito Alta suscetibilidade foram devidamente identificadas e delimitadas ao final da modelagem.

Com relação às áreas consideradas de susceptibilidade Muito Alta, segundo Bitar *et al.* (2014), a distância vertical em relação à drenagem mais próxima está indiretamente relacionada à profundidade do lençol freático. Valores reduzidos dessa distância, próximos a zero, indicam regiões onde o lençol freático se encontra próximo à superfície, resultando em solos saturados; por outro lado, valores mais elevados indicam maior profundidade do lençol freático e, conseqüentemente, áreas com melhor capacidade de drenagem.

Nesse contexto, pressupõe-se que a área em estudo apresenta lençol freático próximo à superfície, o que implica em solos naturalmente saturados. Essa condição influencia diretamente a intensidade e a duração das inundações e alagamentos durante os períodos de cheia, uma vez que limita a infiltração e favorece o acúmulo de água, atuando como uma barreira à percolação.

Para validação da modelagem aplicada pela utilização do HAND Model, conforme sugerido por Brower *et al.* (2017), os resultados obtidos foram identificados e validados por meio de trabalho de campo realizado em 2024 através de relatos de moradores, fotografias aéreas e vídeos do evento obtidos sobrevoando o núcleo urbano de Itajuípe durante as fortes chuvas e enchentes que foram captados e registrados em 26 de dezembro de 2021 (Figura 8) e disponibilizados em domínio público na plataforma de vídeos *online* Youtube

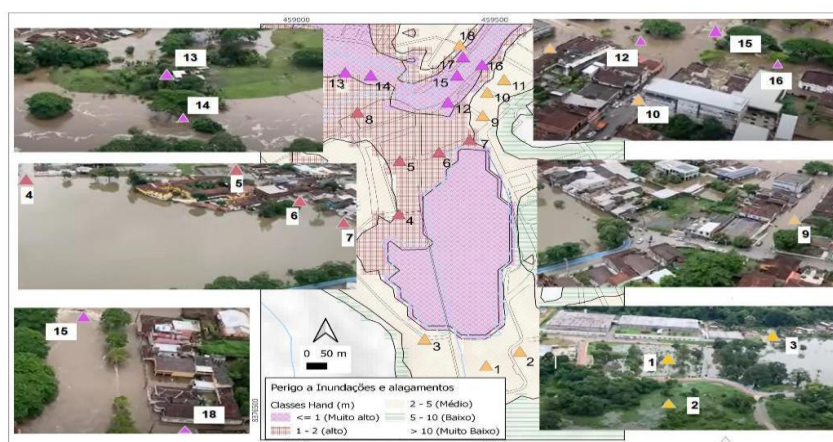


podendo ser acessado através da URL (*Uniform Resource Locator*) <https://www.youtube.com/watch?v=dO-tRdLuMPI>.

A fim de validar os resultados obtidos com o HAND comparando-os com os registros da última inundação em Itajuípe foi gerada a Figura 8 que nos mostra o mapa com as classes e pontos de perigo a inundação e alagamentos no núcleo urbano de Itajuípe identificados pelo processamento do HAND sobreposto com as imagens aéreas dos pontos de inundações e alagamentos nos bairros centro e lagoa Humberto Badaró de Itajuípe após as fortes chuvas em dezembro de 2021. Assim, para além das previsões e determinação das áreas inundáveis e alagáveis obtidas em SIG, pode-se compreender e constatar visualmente a dimensão do desastre natural que deixou o núcleo urbano de Itajuípe aproximadamente 60% submerso isolando, conseqüentemente, seu acesso aos demais municípios vizinhos e necessitando de ajuda via aérea.

Com os resultados das classes de susceptibilidade do HAND, variando de muito alto risco, alto risco, médio risco, baixo risco e muito baixo risco, e a determinação das áreas inundáveis e alagáveis pode-se entender que a gestão de risco à inundação é essencial para lidar com tais eventos antes, durante e depois. Como apontado por Pereira (2024), a área em estudo corresponde a um polígono de 9,72 km² sendo que 1,29 km² correspondem à classe de Muito Alta suscetibilidade, 0,81 km² à Alta, 1,96 km² a média suscetibilidade, ou seja, quase metade da área em estudo. Tais classes estão inseridas nos bairros, principalmente, Nova Itajuípe, Centro e a Beira Rio, expondo seus habitantes aos danos e perdas causados pelas inundações e alagamentos.

Figura 8 – Sobreposição das classes e pontos de perigo à inundação e alagamentos com as imagens das inundações em dezembro de 2021.



Fonte: os autores (2026).

O impacto das inundações e alagamentos no bairro centro limita os moradores no acesso a bens e serviços, tendo em vista também que nele se concentram os principais equipamentos urbanos e comércio. Segundo relatos de moradores, em determinadas áreas centrais próximas à ponte do Rio Almada, a lâmina d'água chegou a atingir 1,80 m de profundidade, assim como o lago Humberto Badaró extrapolou seus limites adjacentes. Ambos são considerados áreas com muito alto risco e alto risco de suscetibilidade à inundação.

Realizar o mapeamento de suscetibilidade à inundação se torna uma importante ferramenta para a tomada de decisão pelo poder público, pois traz à luz do conhecimento a dimensão do impacto causado no núcleo urbano. De acordo com Júnior (2024) subsidiando para elaboração de estratégias de mitigação e resposta quanto ao desastre natural através da associação entre medidas que sejam de cunho estruturais e não-estruturais no enfrentamento a inundações e alagamentos.

Para a determinação das áreas de inundação e alagamentos mediante a suscetibilidade/perigo do evento a partir dos seus determinantes físicos-naturais o HAND se mostrou um modelo eficiente para o núcleo urbano de Itajuípe que possui poucas informações disponíveis. Entretanto, para a compreensão do comportamento das inundações de acordo com Falcetta no Manual de Procedimentos Metodológicos: delimitação de planícies de inundação e de áreas inundáveis (2023) é necessária a disponibilidade do núcleo urbano em escala de detalhe com resolução do MDT de 5m, assim, para que em estudos posteriores, possibilite o mapeamento hidrológico e hidráulico transformando os eventos de precipitação em probabilidades de recorrência em vazão e na determinação de calhas hidráulicas necessárias para conduzi-rem as vazões.

Destaca-se que as inundações e alagamentos que ocorreram em 2021 no núcleo urbano de Itajuípe e causaram danos e prejuízos a sua população residente estão inseridas nas classes de suscetibilidade do HAND de muito alto risco, alto risco e médio risco, conforme pode-se observar nas manchas que delimitam a Figura 7 e nas imagens reais do dia seguinte as chuvas da Figura 8.

Para um evento com tal magnitude, de acordo com o comportamento hidrológico do Rio Almada, estas inundações e alagamentos podem reincidir em ambas as classes a partir da cota de 604 cm e vazão superior a 153,2 m³/s, observando que, de forma sequencial as áreas delimitadas como classe de muito alto risco serão as primeiras a iniciarem a ocorrência de inundações devido a sua associação com o Rio Almada.



Por fim, a justiça social na gestão de risco de inundações é um ponto crítico, pois, no Brasil, quanto mais vulnerável economicamente é a população a sua tendência é a ocupação de áreas mais suscetíveis à ocorrência do evento. Esta ocupação resulta majoritariamente do déficit habitacional, da especulação imobiliária, da desigualdade socioespacial e falhas nas políticas públicas de habitação (Maricato, 2015).

O risco de inundação não afeta e não é distribuído de forma homogênea entre todos os grupos sociais, sendo assim, a vulnerabilidade social é determinante nas perdas sociais e econômicas decorrentes das inundações (Valencio, 2014).

5 CONCLUSÕES

Neste estudo, o núcleo urbano de Itajuípe destacou-se pela sua geomorfologia de fundo de vale, que devido as suas áreas baixas e planas ao longo do Rio Almada, caracteriza ambiente propício à inundação. As formas de relevo identificadas nos mapas de hipsometria e declividade contribuem para a redução da velocidade de escoamento superficial, favorecendo o acúmulo de água nas áreas de baixada adjacentes ao canal principal de drenagem, em razão da baixa inclinação do terreno.

No contexto das inundações ribeirinhas, a existência de uma estação fluviométrica na calha do Rio Almada, localizada no centro urbano de Itajuípe, contribui significativamente para a compreensão do comportamento hidrológico do rio em períodos de cheias. Entretanto, ressalva-se que a disponibilidade de dados planialtimétricos mais detalhados possibilita a aplicação de modelagens hidrológicas e hidráulicas com simulação de cenários e maior precisão na definição de medidas estruturais e não-estruturais.

Com o emprego do HAND Model (*Height Above Nearest Drainage*) para a delimitação da mancha de inundação, embora o modelo apresente limitações quando da ausência de escala de detalhe, o que pode comprometer a precisão e a confiabilidade, o HAND demonstrou-se eficiente e foi adequado diante de sua baixa exigência de dados de entrada, possibilitando o reconhecimento e delimitação das áreas inundáveis e a classificação da suscetibilidade à inundação na sede de Itajuípe com posterior validação *in loco* por meio de relatos e registros em mídias.

Observa-se que em diversos bairros ocorrem alagamentos pontuais que não possuem associação com o Rio Almada, estando associados a uma rede de drenagem pluvial e esgotos com necessidade de melhorias, manutenção e monitoramento.



Logo, é fundamental compreender a hidrodinâmica de recorrência dos eventos e a suscetibilidade da área, evitando tratar as inundações como ocorrências excepcionais. Para tanto, faz-se necessária uma comunicação efetiva entre diferentes esferas de gestão, o investimento em medidas mitigadoras e preventivas e a criação e manutenção de um banco de dados oficial municipal, que auxilie pesquisadores na reconstrução de eventos históricos e na compreensão aprofundada do contexto local.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. E. **Simulação de rompimento de barragens em cascata com o Modelo Mgb**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ALVES, M. E. P.; F. F. M.; SIQUEIRA, V. A.; LAIPELT, L. Comparação de métodos de modelagem de áreas inundadas utilizando técnicas de escala local, regional e global para uma cheia no rio Uruguai. POLETO, C.; GONÇALVES, J. C. S. I.; MARQUES, G. F.; FILHO, J. G. D. (Organizadores). **Bacias hidrográficas e gestão de recursos naturais**. Porto Alegre, RS: Editora GFM, 609p. 2020. ISBN 978-65-87570-07-5

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Ministério da Integração e do desenvolvimento Regional. **Hidro 1.4**. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, 2001. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/sistemas> Acesso em: 13 nov. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Ministério da Integração e do desenvolvimento Regional. **Hidroweb**. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, 2019. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapam> Acesso em: 14 nov. 2024.

ASHLEY, R. M. et al. Flooding in the future—predicting climate change, risks and responses in urban areas. **Water Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 265–273, 2005.

BAHIA (Estado). SEINFRA/SRH. **Diagnóstico das bacias hidrográficas dos rios Cachoeira e Almada**. Caracterização sócio-econômica. Salvador, Volume. I/Tomo II, 2001.

BITAR, O. Y. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000**. Nota Técnica Explicativa, São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014 (Publicação IPT 3016).

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **O que é um desastre**. 5 p, 2018. Acesso em: 03 mar 24. Disponível em: <<https://www.defesacivil.pr.gov.br/Pagina/O-que-e-um-desastre>>

BROUWER, T.; EILANDER, D.; LOENEN, VAN A.; BOOIJ, J. M.; WIJNBERG, K. M.; VERKADE, J. S.; WAGEMAKER, J. Probabilistic Flood Extent Estimates from Social



Media Flood Observations. **natural hazards and earth system sciences**. 2017. p.17, 735–747. doi:10.5194/nhess-17-735-2017.

CENTRO DE INFORMAÇÕES ESTRATÉGICAS EM SAÚDE – CIEVS. **Relatório vigidesastres**. Superintendência de Vigilância e Proteção à Saúde, Salvador: Secretaria de Saúde do Estado da Bahia, 2022.

CENTER FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS - CRED. **The international disaster database**. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2025. Disponível em: <https://www.emdat.be/publications/> Acesso em: 10/09/2025.

CONCEIÇÃO, R. A. C.; SIMÕES, P. M. L. **Nota técnica para elaboração de modelagens de inundação**. CPRM, 2021. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/22079/nota_tecnica_inundacao_modelagem.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 set. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS – CNM. **Panorama dos desastres no Brasil 2013 a 2023**. Defesa Civil e Estudos Técnicos, Brasília: DF, Relatório técnico, 30p., 2024.

CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **EM-DAT: The international disasters database**. 2019. Disponível em: <https://www.emdat.be/database> Acesso em: 8 de mar de 2023.

CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. **Journal Of Hydrology**, 404, 13–29, 2012.

DANTAS, C. G.; CANIL, K. Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a inundação na bacia do Aricanduva - SP utilizando o algoritmo descritor de terreno HAND. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2017. **Anais [...]** 10 p, 2017.

DIAS, F. S; JÚNIOR, J. E. F. F; PIMENTEL, I. M. C. A gestão do risco de inundação no estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015, Brasília – DF. **Anais [...]** Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, novembro de 2015.

FALCETTA, F. A. M. **Manual de procedimentos metodológicos: delimitação de planícies de inundação e de áreas inundáveis**. Manual de Procedimentos Metodológicos, São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2023.

FARIAS, E. S. GOMES, R. L.; SILVA, J. B. L. Conhecimento do perigo ocasionado pelas enchentes urbanas: o caso do município de Itabuna, Bahia. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v.17, n.3, 2111-2131, 2024.

FARIAS, E. S; GOMES, R. L. Comportamento histórico de chuvas e vazões na bacia hidrográfica do rio Cachoeira e suas implicações na ocorrência de eventos de inundações na cidade de Itabuna-BA. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v.16, n.02, 847-872, 2023. ISSN:1984-2295, 2023.



FERNANDEZ, P.; PEREIRA, L.G.; MOREIRA, M.; GONÇALVES, G. Criação e avaliação do modelo digital de superfície de escoamento para elaboração das cartas de risco de inundação. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA, 8, Portugal, 2015. **Anais [...]** Portugal, 2015.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira De Cartografia**, 69, (1), p. 61-69, 2017.

GOMES, R. L. Avaliação da fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural a perda de solo da bacia hidrográfica do rio Almada. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 41-53, set.-dez., 2013. doi: 10.4025/bolgeogr.v31i3.18650

GRACIOSA, M.C.P. e MEDIONDO, E.M. Dimensionamento de uma trincheira de infiltração para o controle do escoamento superficial em lote residencial urbano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, São Paulo, 2007. **Anais [...]** São Paulo: ABRH, 2007.

HORA, S. B; GOMES, R. L Mapeamento e avaliação do risco à inundação do rio Cachoeira em Trecho da Área Urbana do Município de Itabuna-BA. **Sociedade e natureza**, 21, (2) ago/2009.

HU, A.; DEMIR, I. **Real-Time Flood Mapping on client-side web systems using HAND Model**. HYDROLOGY, 8(2), 2021. <https://doi.org/10.3390/hydrology8020065>

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL - INPE. **HAND Model a new lookover the landscape**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, governo federal, república federativa do Brasil, 2025.
Disponível em: https://handmodel.ccst.inpe.br/?page_id=326&lang=en Acesso em: 28 jul. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA – IPT. **Delimitação de planícies de inundação e áreas inundáveis**. Manual de procedimentos metodológicos, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1. Ed, pág. 181, 2023.

JOHNSON, J. M.; MUNASINGHE, D.; EYELADE, D.; COHEN, S. An integrated evaluation of the National Water Model (NWM)–Height Above Nearest Drainage (HAND) flood mapping methodology. **ARTICLES NHES**, Volume 19, issue 11, 19, 2405–2420, 2019. doi.org/10.5194/nhess-19-2405-2019.

JÚNIOR, G. X. DE M. Análise sobre medidas estruturais e não estruturais para a prevenção de inundações nas áreas urbanas e rurais. In: IV END - ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES DA ABRHIDRO, 2024, ISSN: 2764-9040. **Anais [...]** ABRHidro, 2024.

KOBİYAMA, M. Hydrological disasters reductions: lessons from hydrology. **Science And Technology For Environmental Studies**, 49-72, 2010.



MANTOVANI, J. R.; ALCÂNTARA, E.; BAIÃO, C. F.; PAMPUCH, L.; CURTARELLI, M. P.; RIBEIRO, J. V. M.; GUIMARÃES, Y. C.; LONDE, L.; MASSI, K.; MARENGO, J.; NOBRE, C. A.; ASSIREU, A. T.; BORTOLOZO, C. A.; SIMÕES, S. J.; TOMASELLA, J.; MORAES, O. L. L.; PARK, E. Unprecedented flooding in Porto Alegre metropolitan region (southern brazil) in may 2024: causes, risks, and impacts. **Journal Of South American Earth Sciences**, Elsevier, Volume 160, July 2025, doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105533

MANZ, J. **Interface entre políticas públicas frente à gestão do risco de inundações nas bacias hidrográficas dos rios Pabanha e Paquequer, RJ – brasil**. 2021. 436f. Tese de doutorado em Geografia, Faculdade de Letras do Porto, Programa de Pós-Graduação: Geografia, Campinas: São Paulo, 2021.

MARICATO, E. **Para entender a crise urbana**. São Paulo: Expressão Popular, 2015.

MENGUE, V. P.; SCOTTÁ, F. C.; SILVA, T. S.; FARINA, F. Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. **Pesquisas em Geociências**, 41-53, 2016.

MILANESI, J.; QUADROS, E. L.; LAHM, R. A. Utilização do modelo HAND no reconhecimento dos terrenos sujeitos a inundação - Porto Alegre/RS. **Revista Brasileira De Cartografia**, 675-686, 2017.

MOMO, M. R. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira De Recursos Hídricos**, 21, p. 200-208, 2016.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. **HYDROLOGICAL PROCESSES**, 2015. DOI: 10.1002/hyp.10581
NOBRE, A. D.; SILVEIRA, A.; CUARTAS, L.A. **Aspectos físicos e geográficos das áreas ripárias no Brasil: análise preliminar da legislação**. Ciência para o Código Florestal. São José dos Campos: Centro de Ciência para o Sistema Terrestre – INPE, 110 p. Relatório Científico, 2011b.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. **Journal Of Hydrology** 404, 13–29, 2011a.

OLIVEIRA, G. G. de; FLORES, T.; BRESOLIN, N. A.; JUNIOR, C. H.; ECKHARDT, R. R.; QUEVEDO, R. P. Análise da suscetibilidade a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS, Brasil. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 37, n. 2, p. 437 - 453, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Nova Iorque: ONU, 2025. Disponível em: <http://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 19 set. 2025.

PEREIRA, C. R. P. Planejamento urbano e gestão de risco de inundação na bacia hidrográfica do rio Bacanga – São Luís, MA. **Geoconexões**, v. 1 n. 18 2024 ISSN:2359-6007 doi.org/10.15628/geoconexes.2024.14985



PINHEIRO, J. G. M. Aplicação do modelo HAND para modelagem de suscetibilidade à inundação nos bairros de Ilhéus, sul da Bahia (Brasil). **Revista Brasileira De Sensoriamento Remoto**, v.5 n.1, 2024.

PONTES, P. R.; FAN, F. M.; FLEISCHMANN, A. S.; PAIVA, R. C.; BUARQUE, D. C.; SIQUEIRA, V. A.; COLLISCHONN, W. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. **Environmental Modelling & Software**, v. 94, 1-20, 2017.

RENNÓ, C. D. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rain forest environments in Amazonia. **Remote Sensing Of Environment**, 112, p. 3469-3481, 2008.

SERVIÇO NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico temático drenagem e manejo de águas pluviais urbanas**. Secretaria Nacional de Saneamento, 61 pag, 2022.

SILVA JUNIOR, R. S.; GAMA, M. C. C. DA; MARIANO, G. L.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F. DE, SILVA, E.H. DE L.; SILVA, L. S. DE O.; CARDOSO, K. R. A. Avaliação de eventos extremos de precipitação, associados a desastres naturais. **Revista Brasileira De Geografia Física**, 2022. Disponível:
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/254791/42825>. Acesso: 27 ago. 2025.

SILVA, L. F.; LEITE, D. A. R. O Tema Mudanças Climáticas em Teses e Dissertações Brasileiras de Educação Ambiental. **ACTIO**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 1-17, mai./ago. 2020.

SOUSA, H. T.; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; CECON, P. R., SOUSA, J. R. C. **SisCAH – Sistema Computacional para Análise Hidrológica**. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.
doi.org/10.11606/rdg.v34i0.123635

SPECKHANN, G. A. **Mapeamento de áreas de inundação em três municípios localizados na bacia do Rio Itajaí**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana**. Brasília: UNESCO, 2012.

UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022**. Geneva, 2022.

VALENCIO, N. **Desastres, Ordem Social e Planejamento em Defesa Civil: O Contexto Brasileiro**. São Carlos: RiMa Editora, 2014.

