

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

HEC-RAS E FERRAMENTAS SIG APLICADOS NA AVALIAÇÃO DE RISCOS DE INUNDAÇÃO NA BACIA DO RIO PIRANGI - PE

Lucas Amorim Amaral Menezes¹; Camila Oliveira de Britto Salgueiro²; Ubiratan Joaquim da Silva Junior³; Juarez Antônio da Silva Júnior⁴; Estephania Silva Jovino⁵; Juliana Farias Santos de Moraes⁶; Rebecca Borja Gonçalves Gomes de Menezes⁷; Leidjane Maria Maciel de Oliveira⁸; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva⁹ & Sylvana Melo dos Santos¹⁰

Abstract: This study assessed the impacts of flood events on the Pirangi River in the Una River Basin, Pernambuco, Brazil, from 2002 to 2024. Using the HEC-RAS hydraulic model integrated with Geographic Information Systems (GIS), flood-prone areas were mapped based on peak discharges (316.65 m³/s in Catende and 86.76 m³/s in São Benedito do Sul) and return periods (RPs) of 5 to 25 years. The results showed significant overflows in Jaqueira and Catende, with depths exceeding 7,00 meters in some locations. In Catende, water velocities reached over 1,00 m/s, while in Jaqueira, flooded areas exhibited low velocities, facilitating evacuations during critical events. Flood extension was greater during peak discharge scenarios, highlighting the vulnerability of urbanized regions. These findings underscore the need for preventive measures, such as proper zoning and early warning systems, to mitigate flood impacts. The integration of hydraulic models and GIS proved effective, providing valuable insights for risk management and planning in the region.

Resumo: Este estudo avaliou os impactos de eventos de inundaçāo no Rio Pirangi, localizado na bacia hidrográfica do Rio Una, Pernambuco, Brasil, entre 2002 e 2024. Utilizando o modelo hidráulico HEC-RAS integrado com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foram mapeadas áreas suscetíveis a inundações com base em vazões máximas (316,65 m³/s em Catende e 86,76 m³/s em São Benedito do Sul) e tempos de retorno (TR) de 5 a 25 anos. Os resultados indicaram transbordamentos significativos em Jaqueira e Catende, com profundidades superiores a 7,00 metros em algumas áreas. Em Catende, a velocidade da água alcançou valores superiores a 1,00 m/s, enquanto em Jaqueira verificaram-se áreas de alagamento com baixas velocidades, favorecendo evacuações em casos críticos. A extensão horizontal da inundaçāo foi maior em cenários de vazões máximas, confirmando a vulnerabilidade dessas localidades, especialmente em áreas urbanas. Esses resultados ressaltam a necessidade de ações preventivas, como zoneamento adequado e sistemas de alerta, para mitigar os impactos das inundações. A integração de modelos hidráulicos e SIG mostrou-se eficaz, contribuindo para o planejamento e a gestão de riscos hídricos na região.

Palavras-Chave – Mancha de inundaçāo; Modelagem hidráulica; Pernambuco.

1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, 50.740-530 - Recife - PE – Brasil. Fone: +55 81 2126.8000. E-mail: lucas.laam@ufpe.br

2) Doutoranda, PPGEC, UFPE, Recife, Pernambuco, camila.salgueiro@ufpe.br

3) Doutorando, PPGEC, UFPE, Recife, Pernambuco, ubiratan.joaquim@ufpe.br

4) Mestrando, PPGEC, UFPE. E-mail: juarez.silvajunior@ufpe.br

5) Doutoranda, PPGEC, UFPE. E-mail: estephania.jovino@ufpe.br

6) Doutoranda, PPGEC, UFPE. E-mail: juliana.fmoraes@ufpe.br

7) Doutoranda, PPGEC, UFPE. E-mail: rebecca.borja@ufpe.br

8) Professora Adjunta, DECIV, UFPE. E-mail: leidjane.oliveira@ufpe.br Professor

9) Associado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - DECIV, UFPE. E-mail: anderson.paiva@ufpe.br

10) Professora Titular, DECIV, UFPE. E-mail: sylvana.santos@ufpe.br

INTRODUÇÃO

As inundações são as mais devastadoras entre os desastres naturais em termos de socioeconomia e mortes (Pathan *et al.*, 2022). Se a capacidade transversal for excedida em vários pontos ao longo de uma rota fluvial, as inundações podem causar danos graves em bacias e áreas costeiras (Peker *et al.*, 2024). Portanto, é importante compreender como prever o risco de inundaçāo e definir as precauções a serem tomadas. A estimativa do volume de escoamento superficial causado pela precipitação é fundamental para avaliar a capacidade de armazenamento dos reservatórios e prever a probabilidade de ocorrência de inundações (Sukumaran e Birkinshaw, 2024).

É essencial obter informações oportunas e eficazes sobre inundações e dados precisos acerca dos riscos de suas ocorrências, interpretando mapas de inundaçāo para evitar possíveis desastres pós-evento e reduzir danos nas respectivas áreas. O primeiro passo para obtenção de diversos supracitados mapas, além dos de risco é realizar modelagem de inundaçāo, como modelagem hidrológica e hidráulica (Beden e Ulke Keskin, 2021). Modelos numéricos são essenciais no desenvolvimento de um modelo hidráulico e na aplicação de análise hidráulica de leitos de rios usando o programa HEC-RAS tem-se uma escolha eficaz (Tsakiris, 2014).

Nos últimos anos, o uso integrado de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com modelagem hidrológica e hidráulica melhorou significativamente a modelagem numérica de inundações. O ambiente SIG pode extrair as variáveis hidrológicas de um Modelo Digital de Elevação (MDE) com boa precisão, como formas de bacias hidrográficas, comprimentos de caminhos, direções de fluxo, delineamentos e declives.

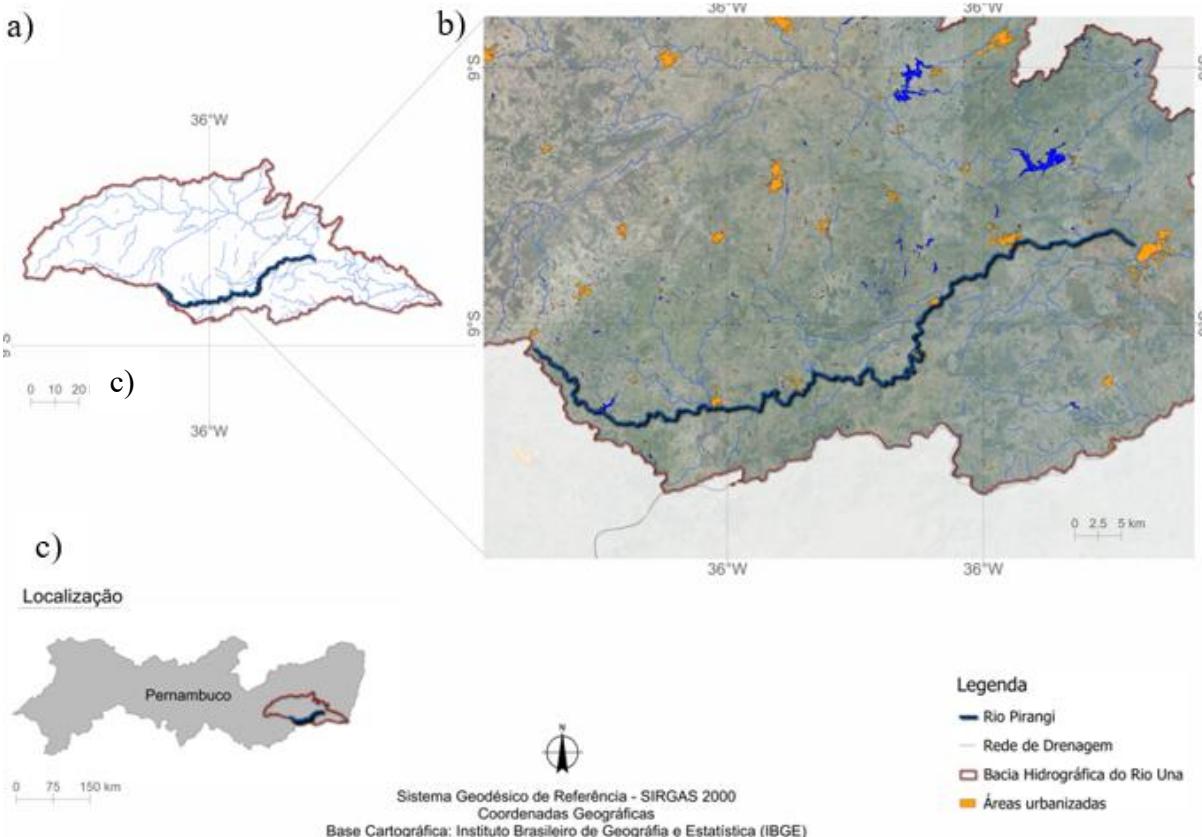
Dentre os estudos que utilizaram o HEC-RAS como ferramenta de mapeamento de eventos de inundaçāo destaca Peker *et al.* (2024), pois integraram os modelos HEC-HMS, HEC-RAS e SIG na modelagem de inundações e mapeamento de risco de inundaçāo da Bacia do Rio Göksu, em Mersin, na Turquia. Para esse propósito, utilizaram vários intervalos de retorno das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) no modelo hidrológico: 25, 50, 100 e 500 anos.

Modelos numéricos permitem que pesquisadores avaliem inundações quantitativamente e avaliem riscos de inundaçāo e outros relacionados qualitativamente. A modelagem de inundações é um método técnico para obter informações de alta precisão sobre fatores importantes de inundaçāo, como escoamento, armazenamento e velocidade. Neste contexto, este estudo objetiva mapear os efeitos de eventos de inundaçāo nas proximidades do Rio Pirangi na bacia Hidrográfica do Rio Una-PE. Destaca-se que, eventos históricos, como as inundações de 2010 e 2017, causaram severos prejuízos econômicos, deslocamento de populações e perdas humanas, evidenciando a necessidade de um entendimento aprofundado sobre os fatores que desencadeiam essas catástrofes nesse local.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado considerando as áreas próximas ao Rio Pirangi (Figura 1) que se encontra inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Una ($07^{\circ}19'02''$ a $08^{\circ}36'32''S$ e $39^{\circ}17'33''$ a $40^{\circ}43'06''W$), com altitude média de 557 m. Essa bacia está localizada entre os estados de Pernambuco e Alagoas, encontra-se inserida em uma zona de transição climática, com predominância de clima tropical úmido. O Rio Pirangi tem sua nascente no município de Quipapá, e possui aproximadamente 72 km de extensão. Ele banha as cidades de São Benedito do Sul, Maraial, Jaqueira e Catende, e deságua no Rio Una, em Palmares (APAC 2025).

Figura 1 - Área de Estudo. (a) Bacia Hidrográfica do Rio Una. (b) Rio Pirangi inserido na Bacia do Rio Una. (c) Localização da área de estudo no Estado de Pernambuco.



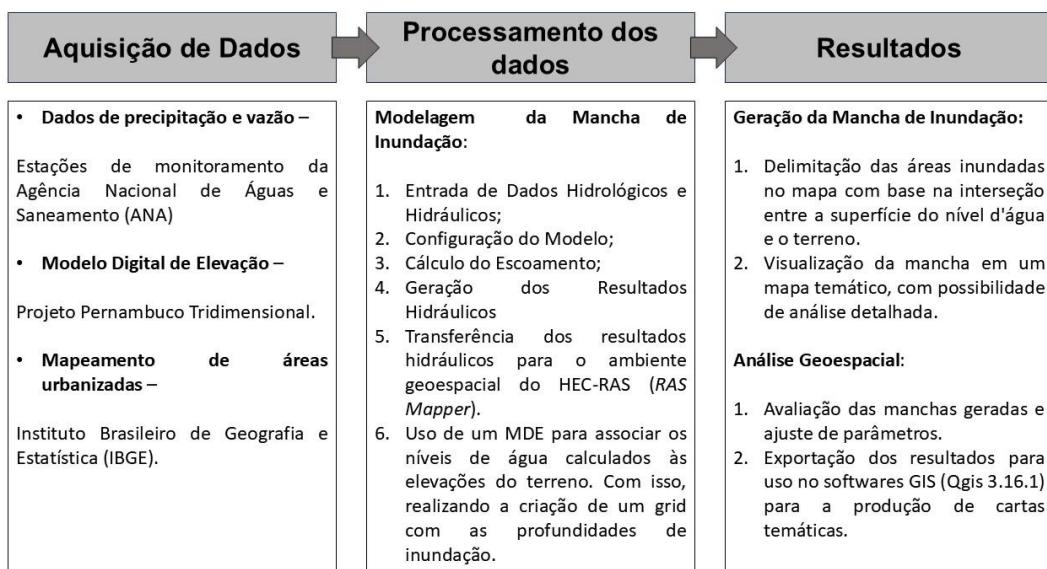
Fonte: Autores (2025).

A bacia do rio Una apresenta uma área de 6.740,31 km², dos quais 6.262,78 km² estão inseridos no Estado de Pernambuco, correspondendo a 6,37 % do total do Estado (APAC 2025). A evapotranspiração potencial média atinge 175,10 mm por mês, acumulando mais de 2000 mm anualmente. A precipitação média anual é relativamente baixa, em torno de 608,0 mm, com a maior parte das chuvas concentrada na estação chuvosa, de dezembro a abril. Esses contrastes entre alta evapotranspiração e baixa precipitação reforçam a vulnerabilidade hídrica da bacia e sua suscetibilidade a eventos climáticos extremos, como secas e inundações.

A metodologia foi desenvolvida em três etapas: aquisição de dados, processamento e obtenção de resultados (Figura 2).

Para a execução do mapeamento da mancha de inundação, foram adquiridos importantes dados, dentre eles destacam-se: MDE; dados hidrológicos e hidráulicos: precipitação e vazão; e os dados cartográficos (mapas de uso e cobertura do solo), que possibilitaram identificar as áreas com maior suscetibilidade a partir da cobertura espacial determinada pela mancha de inundação. O processamento dos dados foi realizado nos dois ambientes digitais (SIG e HEC-RAS): a modelagem da mancha de inundação foi processada por meio do software de livre acesso HEC-RAS 6.1.0 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), em conformidade com o descrito na etapa de processamento de dados (Figura 2).

Figura 2 - Etapas metodológicas



Fonte: Autores (2025).

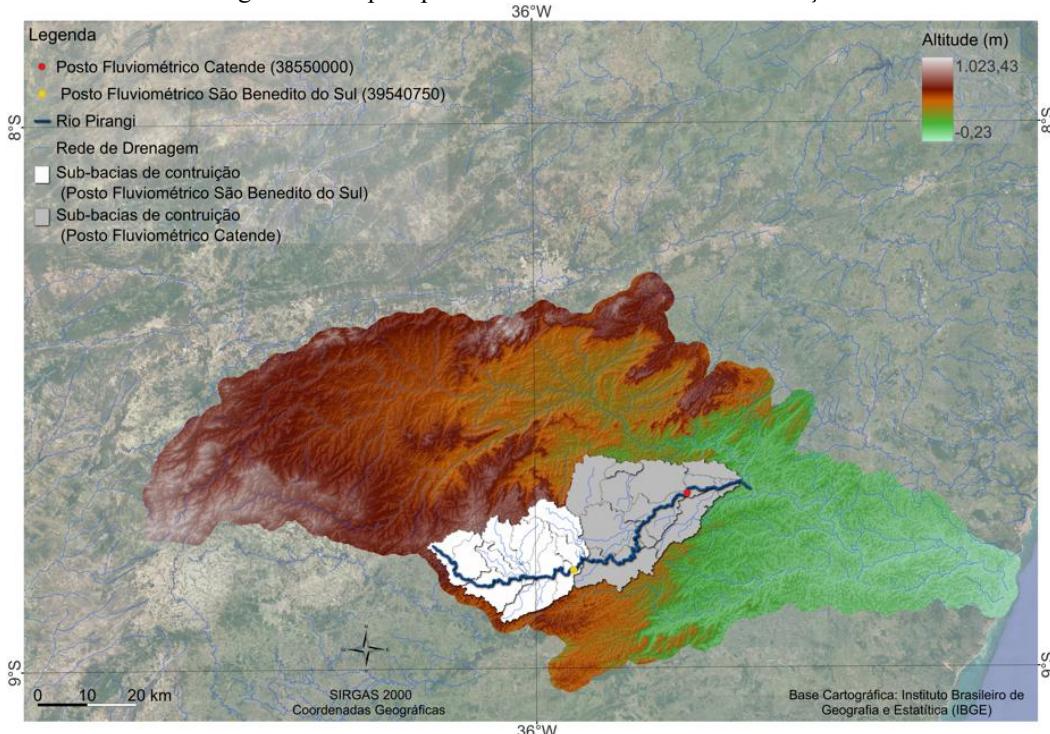
Em sequência cronológica de realização: entrada de dados hidrológicos e hidráulicos com inserção de informações do modelo, como geometrias do canal, planície de inundação, perfis transversais e coeficiente de rugosidade de Manning; inclusão de dados de fluxo (vazões ou hidrogramas); configuração do modelo, com a definição do regime de escoamento (permanente ou variado) e a seleção das condições iniciais e de contorno, como níveis d'água ou vazões em limites a montante e a jusante; realização das simulações hidráulicas, por meio do cálculo do escoamento, com base na equação de energia (escoamento permanente) ou nas equações de Saint-Venant (escoamento variado) e a determinação de perfis de superfície d'água ao longo do canal.

Como resultados hidráulicos, pode-se obter o cálculo das profundidades e velocidades em cada seção transversal e a identificação das áreas potencialmente inundadas com base nos níveis calculados. A geoespacialização da mancha de inundação ocorre por meio da transferência dos resultados hidráulicos para o ambiente geoespacial do HEC-RAS (*RAS Mapper*). Com isso, utiliza-se a sobreposição com o MDE, para associar os níveis de água calculados às elevações do terreno e a criação de um *grid* com as profundidades de inundação.

A delimitação das áreas inundadas no mapa considera como base a interseção entre a superfície do nível d'água e o terreno. Em seguida, avaliam-se as manchas geradas e ajustes de parâmetros necessários de modo a adequar a mancha modelada a realidade espacial da área. Como produto, a mancha é exportada em formato *shapefile*, em ambiente SIG, com auxílio do software de livre acesso Qgis 3.16.1, os dados foram tratados e analisados produzindo cartas temáticas da mancha de inundação na área de estudo.

No processo de aquisição dos dados foi utilizado como MDE uma cena altimétrica do PE3d (Projeto Pernambuco Tridimensional, 2014) com resolução de 30 cm. Esse MDE teve seu preenchimento de falhas corrigido, possibilitando a geração da rede de drenagem e de rios da área. Em seguida, por meio da divisão de sub-bacias de contribuição foram definidas as áreas de contorno para geração do modelo. Ambos os processos utilizaram o software Qgis 3.16.1. e estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Mapa hipsométrico com as áreas de contribuição



Fonte: Autores (2025).

Em relação ao modelo HEC-RAS, faz-se necessário a entrada de dados geométricos detalhados em relação ao rio, áreas adjacentes e estruturas hidráulicas. Essas informações são combinadas com dados de escoamento para simular a propagação do fluxo ao longo do curso d'água. Com o uso dos dados de vazão dos postos fluviométricos de São Benedito do Sul (Posto Fluviométrico nº 39540750) e Catende (Posto Fluviométrico nº 38550000) adquiridos por meio da base de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (ANA, 2024), foi calculada a vazão máxima ($Q_{\text{máx}}$) para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos utilizando a Distribuição de Gumbel em conformidade com o estudo de Cunha *et al.* (2014).

A Tabela 1 apresenta os valores de vazão (Q) em m^3/s calculados para os Tempos de Retorno (TR) de 5, 10 e 25 anos para as estações fluviométricas analisadas. A partir da aplicação do software QGIS, foi encontrada a área de referência para cada bacia de contribuição. Então, a partir da associação com as vazões brutas calculadas, determinou-se a ponderação de referência, considerando-se a vazão máxima vinculada aos dados de referências do Hidroweb e a vazão associada ao tempo de retorno de 5 anos.

Tabela 1 - Valores de vazão obtidos por meio da distribuição de Gumbel para as estações fluviométricas de São Benedito do Sul e Catende para diferentes TR.

Estação	Q_{TR_5} (m^3/s)	$Q_{TR_{10}}$ (m^3/s)	$Q_{TR_{25}}$ (m^3/s)	$Q_{\text{máx}}$ (m^3/s)
São Benedito do Sul (39540750)	51,792	67,239	86,756	93,218
Catende (38550000)	188,287	244,999	316,654	368,669

Fonte: Autores (2025).

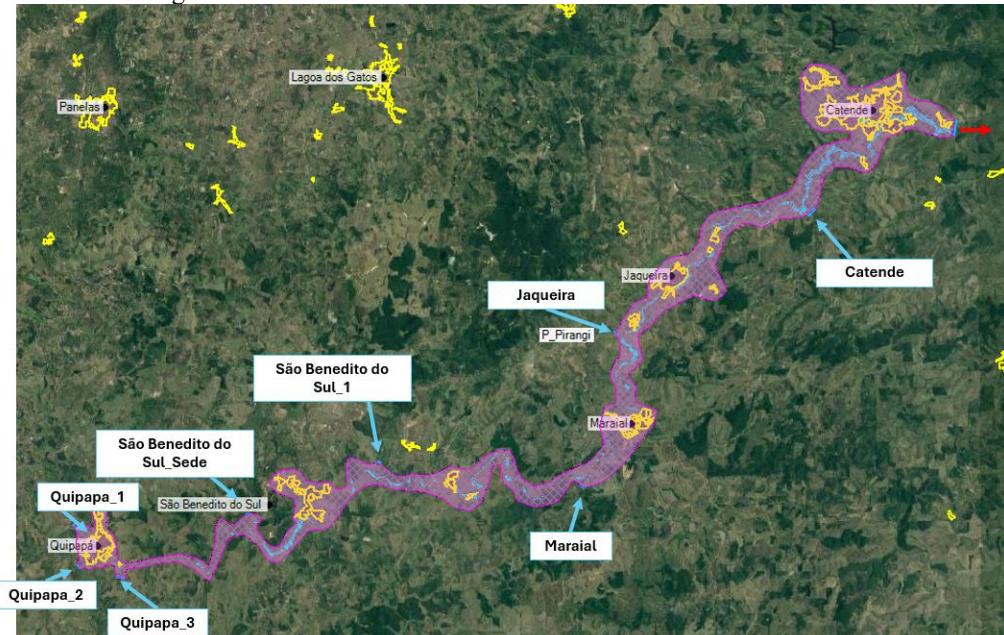
Uma vez configurado o modelo hidráulico, o HEC-RAS utilizam-se os resultados da simulação, como os níveis d'água em cada seção transversal, para extrapolar a extensão horizontal da inundação. Para isso, os níveis d'água calculados foram projetados sobre o MDE georreferenciado. Essa

integração entre os resultados hidráulicos e os dados topográficos permite determinar as áreas potencialmente inundadas, considerando tanto a altitude do terreno quanto a variação do nível d'água em cada seção transversal. O processo é iterativo, garantindo que as condições hidráulicas sejam coerentes ao longo do trecho analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a simulação da mancha de inundação, foi considerado o fluxo transiente, onde as condições de escoamento podem variar ao longo do tempo, com uma malha de 55107 elementos discretizados com tamanho médio de célula igual a 100 x 100 m. A Figura 4 apresenta a geometria utilizada no modelo, com destaque em azul para as condições de contorno referentes a vazão de entrada e em vermelho, para a foz, ligada a vazão de saída.

Figura 4 - Geometria considerada no modelo do HEC-RAS



Fonte: Autores (2025).

Para avaliação detalhada do comportamento da mancha de inundação associado a um evento de vazão máxima, foram elaboradas seções ao longo do Rio Pirangi. Os resultados indicaram para a seção Quipapá um comportamento da profundidade da água no trecho do município e sua região a jusante. Observaram-se valores de profundidade variando entre 0 e 3 metros para a situação de transbordamento da margem do rio. Então, as áreas adjacentes são impactadas durante eventos de transbordamento e infraestruturas locais, como estradas e edificações próximas, estão vulneráveis a essas inundações.

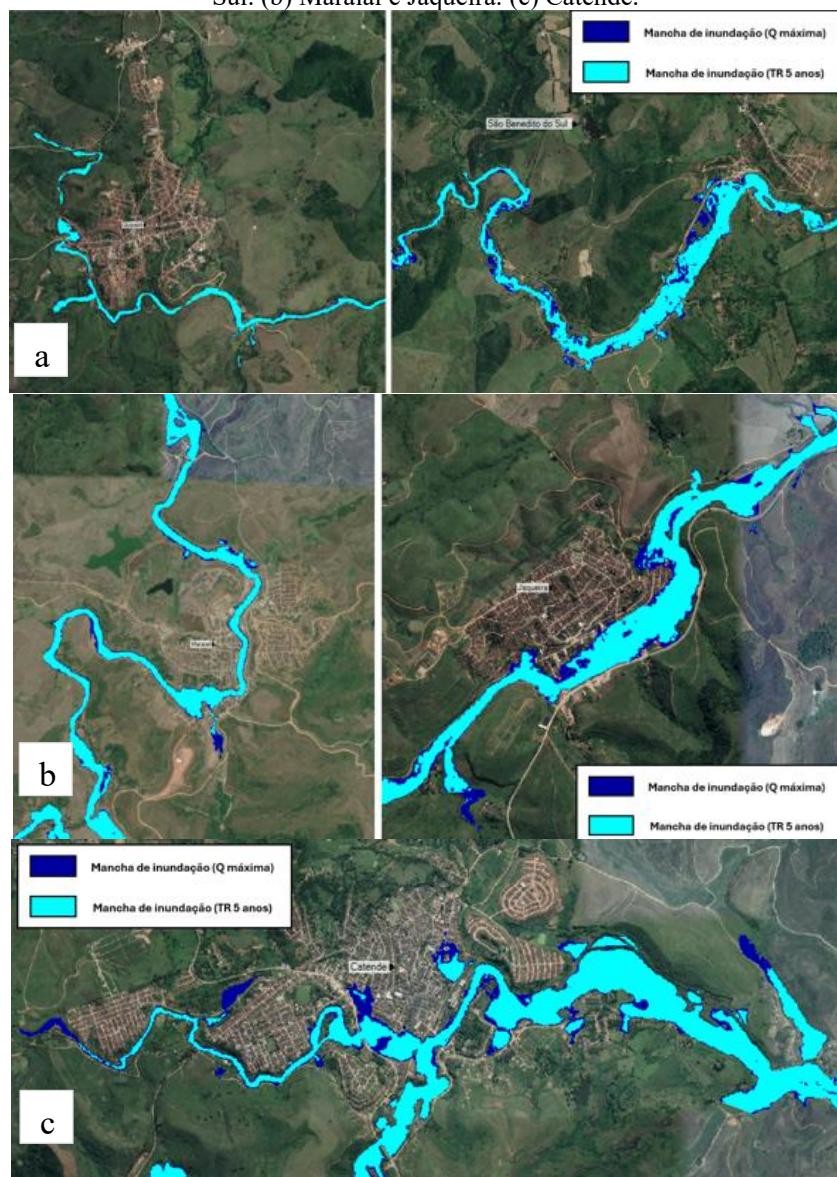
A seção analisada na área urbanizada de São Benedito, observa-se um transbordamento da ordem de 5 metros horizontais e que tendem a comprometer edificações e vias principais. Esse cenário reforça a necessidade de sistemas de drenagem urbana mais robustos, eficientes e resilientes no gerenciamento do volume e fluxo de água. Em Maraial, para a seção localizada no trecho de área urbana, não foram encontrados transbordamentos significativos. Em Jaqueira, ao longo do rio foram observados diversos pontos de transbordamento ao longo da região urbana.

Na seção de Catende, assim como em Jaqueira, foram identificados vários pontos de transbordamento, com destaque para áreas mais profundas em Catende. As altas velocidades em

Catende (acima de 1,00 m/s) contrastam com as baixas em Jaqueira, evidenciando diferentes comportamentos hidráulicos ao longo do Rio Pirangi. As áreas de maior energia em Catende tendem à erosão e transporte de sedimentos, enquanto as de menor velocidade favorecem a deposição. A análise do gradiente hidráulico nas áreas urbanas mostra a influência da geomorfologia e do uso do solo na propagação das inundações, indicando a necessidade de estratégias específicas de mitigação para cada caso.

Neste estudo também foi desenvolvida uma análise comparativa entre a mancha de inundaçāo associada a vazão máxima encontrada, em azul escuro, e vazão vinculada ao tempo de retorno de 5 anos, em azul claro (Figura 5). Destaca-se que para os dois cenários têm-se a incidência de transbordamento ao longo do Rio Pirangi, contudo fica evidenciado como os eventos hidrológicos extremos associados à vazão máxima afetam significativamente a extensão da lâmina d'água em relação ao cenário do TR de 5 anos. As áreas de várzea, embora contribuam para amortecer os picos de vazão, ainda são insuficientes para conter o impacto de eventos mais severos.

Figura 5 - Mancha de inundaçāo - evento associado a vazão máxima e ao TR de 5 anos. (a) Quipapá e São Benedito do Sul. (b) Maraial e Jaqueira. (c) Catende.



Fonte: Autores (2025).

Melo *et al.* (2020) avaliaram a mancha de inundação para o município de Jaqueira e foram observados resultados semelhantes aos simulados no modelo HEC-RAS do presente estudo em relação às lâminas de transbordamento. Alves e Cirilo (2022) estudaram a formação da mancha de inundação em diversos municípios de Pernambuco, como Catende, Palmares, Água Preta, levando em consideração uma série de vazões de entrada. Observa-se que os caminhos associados ao processo de transbordamento do Rio Pirangi apresentam, em aspectos gerais, os mesmos pontos de propagação, com diferenciais de extensão associados a diferentes vazões. As evidências obtidas nesta pesquisa estão em consonância com os resultados reportados por Melo *et al.* (2020) e Alves e Cirilo (2022), reforçando a validação das tendências nos padrões de transbordamento identificados.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados evidenciam a possibilidade de ocorrência de transbordamento do Rio Pirangi frente a eventos críticos de precipitação, tanto para zonas urbanas quanto para zonas rurais. Para os municípios de Quipapá, São Benedito do Sul e Maraial, têm-se transbordamento do rio em regiões a jusante do município, com lâmina d'água se propagando horizontalmente em diversos pontos.

Enfatiza-se a relevância de integrar modelagem hidráulica e SIG na avaliação de riscos hídricos em bacias hidrográficas vulneráveis. O uso do modelo HEC-RAS, combinado com dados geoespaciais, permite uma análise detalhada das áreas suscetíveis a inundações, oferecendo suporte para identificar as zonas críticas e propor estratégias de mitigação. Logo, a aplicação dessas ferramentas é importante para a gestão de bacias hidrográficas com o objetivo de garantir a segurança das comunidades locais e a sustentabilidade dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, código de financiamento 001, e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento à pesquisa e apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de doutorado. A CAPES pela concessão ao primeiro autor (Processo nº 88887.134143/2025-00), à segunda autora (Processo nº 88887.134583/2025-00), ao terceiro autor (Processo nº 88887.134500/2025-00), ao quarto autor (Processo nº 88887.910305/2023-00) à sexta autora (Processo nº 88887.151009/2025-00) e à sétima autora (Processo nº 88887.999200/2024-00). A FACEPE pela concessão à quinta autora (Processo nº 0198-3.01/23).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. (2024). *HidroWeb – Sistema brasileiro de dados pluviométricos e Fluviométricos*. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/documents/fb3426be2d4a4f9abfa90fb87b30bd4f/about>. Acesso em: 12 de dezembro de 2024.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC (2022). *Bacias hidrográficas – Rio Uma*. Disponível em: [https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-uma/209-bacia-do-rio-uma#:~:text=A%20Unidade%20de%20Planejamento%20H%C3%ADrico,'10%E2%80%9D%20de%20longitude%20oeste](https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-uma/173-bacias-hidrograficas-rio-uma/209-bacia-do-rio-uma#:~:text=A%20Unidade%20de%20Planejamento%20H%C3%ADrico,'10%E2%80%9D%20de%20longitude%20oeste). Acesso em: 03 de junho de 2025.

ALVES, F. H. B. A; CIRILO, J. A. (2022). “Cenários de inundação para gestão de riscos em municípios da bacia hidrográfica do rio uma” in: Anais do XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Caruaru - PE, 10 p.

BEDEN, N.; ULKE KESKIN, A. (2021). “Estimation of the local financial costs of flood damage with different methodologies in Unye (Ordu), Turkey.” Natural Hazards, v.108 , p. 2835–2854.

CUNHA, A. C. ; VILHENA, J. E. S.; SANTOS, E. S.; SARAIVA, J. Maria B.; KUHN, P. A. F.; BRITO, D. C.; SOUZA, E. B. de; ROCHA, E. P.; CUNHA, Helenilza F. A.; BRITO, A. U. (2014). “Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá, Brasil.” Revista Brasileira de Meteorologia, v. 29, p. 95-110.

MELO, V. B.; CIRILO, J. A.; RIBEIRO, A. A. S.; OLIVEIRA, G. A. (2020). “Inferência probabilística por meio da krigagem ordinária sobre alturas de inundação no município de jaqueira em Pernambuco” in: Anais do XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Recife - PE, 10 p., 2020.

PATHAN, A.; KANTAMANENI, K.; AGNIHOTRI, P.; PATEL, D.; SAID, S.; SINGH, S. K. (2022) “Integrated Flood Risk Management Approach Using Mesh Grid Stability and Hydrodynamic Model”. Sustainability, v. 14, n. 24, 16401.

PEKER, I. B.; GÜLBAZ, S.; DEMIR, V.; ORHAN, O.; BEDEN, N. (2024). “Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping”. Sustainability, v. 16, n. 3, 1226.

PROJETO PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL – PE3D (2014). *Modelo Digital de Elevação do Estado de Pernambuco, Brasil*. Disponível em: <https://pe3d.pe.gov.br/>. Acesso em: 12 de dezembro de 2024.

SUKUMARAN, S. T.; BIRKINSHAW, S. J. (2024). “Investigating the Impact of Recent and Future Urbanization on Flooding in an Indian River Catchment”. Sustainability, v. 16, n. 13, 5652.

TSAKIRIS, G. (2014). “Flood risk assessment: concepts, modelling, application.”. Natural Hazards Earth Syst. Sci. v.14, p.1361–1369.