

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

MODELAGEM HIDRODINÂMICA COM HEC-RAS 2D: AVALIAÇÃO DE INUNDAÇÕES NO RIO DA SERRA (BA)

Pedro Rocha Farias¹; Naiah Caroline Rodrigues de Souza²; Camilla Maria Torres Pinto³; Lucas Augusto dos Santos⁴; Wesley Marçal Neves⁵; Tassio Moreira Silva⁶ & Tiago Gomes da Silva⁷

Abstract: Two-dimensional (2D) hydrodynamic modeling with HEC-RAS was applied to simulate flood propagation and assess inundation risk for a low-lying coastal village in the Maraú/Serra estuary (Maraú, BA, Brazil), which has experienced surface water level rise and recurrent flooding over the past four years following intense rainfall events. The model utilized a high-resolution Digital Elevation Model (Anadem), secondary bathymetric data for cross-sections, and land use-based roughness coefficients. A 14-hour unsteady flow simulation was conducted using a regionalized hydrograph as the upstream boundary and tidal elevation as the downstream boundary to incorporate coastal dynamics. The results indicated that inundation would only affect the village under a flow scenario 350% greater than the regionalized hydrograph, highlighting a high resilience threshold under the modeled conditions.

Resumo: Este estudo apresenta a aplicação da modelagem hidrodinâmica bidimensional no software HEC-RAS, com o objetivo de simular a propagação de cheias no trecho do rio da Serra e avaliar o risco de inundação em uma vila, situada em área costeira, no estuário do rio Maraú/Serra, em Maraú (BA). A área em análise foi selecionada por ter apresentado episódios de alagamento, ou seja, elevação de nível do escoamento superficial nos últimos 4 anos, após eventos de chuva intensa. Foram utilizados, como dados de entrada, um Modelo Digital de Elevação (Anadem) detalhado, com coeficientes de rugosidade atribuídos conforme características do solo e tipo de revestimento do canal do rio, e dados batimétricos secundários para definição das seções transversais. A simulação considerou escoamento não permanente bidimensional durante um período de 14 horas. Como condição de contorno a montante, foi inserido um hidrograma regionalizado, e à jusante, a elevação da maré, atribuindo à simulação o processo da dinâmica costeira. Os resultados indicaram que, para que a mancha de inundação atingisse a vila de estudo, seria necessário um aumento de 350% na vazão em relação ao cenário regionalizado.

Palavras-Chave – Modelagem Hidrodinâmica; Inundação; Zonas costeiras.

1) Mestrando do Programa de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento – MAASA/UFBA, Salvador, Bahia. Email: pedrofarias@ufba.br

2) Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente – PPGENAM/UFBA, Salvador, Bahia. Email: naih.carol@gmail.com

3) Professora do Departamento de Engenharias e Computação – DEC/UESC, Ilhéus, Bahia. Email: cmtpinto@uesc.br

4) Graduando em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia. Email: lasantos.egc@uesc.br

5) Graduando em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia. Email: wmneves.egc@uesc.br

6) Geógrafo – Origem Ambiental, Uruçuca, Bahia. Email: aorigemambiental@gmail.com

7) Graduando em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia. Email: tgsilva.egc@uesc.br

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os eventos extremos de chuva têm ocorrido com maior frequência em diversos países, incluindo o Brasil. Episódios como os de Florianópolis-SC (1991), Vale do Itajaí (2008), Serra Fluminense (2011), Sul da Bahia (2021), Petrópolis – RJ (2022), Bertioga-SP (2023) e Rio Grande do Sul (2024), vêm quebrando recordes de magnitude e de danos causados (Collischonn *et al.*, 2024; Kobiyama *et al.*, 2023; Marengo *et al.*, 2023), despertando alertas para mudanças na legislação e ações do governo. Além disso, esses episódios têm despertado, cada vez mais, o interesse de pesquisadores, com o objetivo de compreender essa dinâmica para a minimização dos impactos e o fortalecimento da resiliência em municípios com áreas de risco.

As cidades costeiras, sobretudo as estuarinas, são especialmente vulneráveis, pois além de estarem expostas a enchentes e alagamentos causados por chuvas intensas, também podem ser atingidas por elevação do nível do mar, inundações e erosão costeira.

A ocupação humana de regiões estuarinas tem se intensificado nas últimas décadas, aumentando a pressão sobre a linha de costa com a crescente artificialização das frentes ribeirinhas, fato que acentua a importância do estudo dos riscos socionaturais nestas zonas, em particular o risco de ocorrência de fenômenos hidrodinâmicos extremos (Cabral *et al.*, 2008).

Diante desse contexto, torna-se extremamente relevante a compreensão da dinâmica de cheias nessas regiões, para contribuir com a gestão da expansão urbana, e minimizar danos e perdas decorrentes dos eventos de chuvas intensas.

A modelagem hidrodinâmica utilizando softwares como o HEC-RAS, desempenha uma importante função na análise de eventos hidrológicos, permitindo a modelagem de inundações, análise de fluxo de rios e avaliação de impactos decorrentes desse processo (Miguez *et al.*, 2018).

Dessa forma, este estudo apresenta a aplicação do software HEC-RAS na bacia hidrográfica do estuário do rio Maraú/Serra, com objetivo de analisar a propagação de cheias no trecho do rio da Serra. A motivação principal é avaliar o risco de inundação em uma vila costeira, frente ao aumento de vazões fluviais.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área em estudo compreende a porção norte e central de uma vila, localizada na Península de Maraú (BA), entre as Vilas de Saquaira (ao norte) e a de Algodões (ao sul). A oeste, a área é delimitada pela BR-030 (não pavimentada) e, a leste, pelo Oceano Atlântico, com coordenadas geográficas de 14° 03' 56.37" S e 38° 57' 25.15" O.

A área de estudo abrange aproximadamente 19 hectares e é caracterizada como rural, apresentando ocupação residencial e turística, com considerável área verde, vias não pavimentadas e canais naturais de drenagem (figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Modelagem hidráulica de inundação

A modelagem hidráulica foi realizada em duas dimensões (2D) utilizando o software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), com o objetivo de gerar manchas de inundação a partir de um hidrograma de entrada, e das características topográficas e das rugosidades da área de estudo. Com base nessas manchas, buscou-se analisar se a vila poderia ser potencialmente atingida em caso de aumento das vazões do rio da Serra, inserido na bacia hidrográfica do estuário do rio Maraú/Serra.

O HEC-RAS 2D simula escoamentos não permanentes (vazão variável no tempo) por meio da resolução das equações de Águas Rasas, também sendo considerando também se o regime é subcrítico, crítico, supercrítico ou misto (USACE, 2023).

A construção do modelo hidrodinâmico bidimensional no HEC-RAS, foi realizado na seguinte sequência metodológica:

- Inserção do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo;
- Definição das características das seções transversais do rio da Serra;
- Definição dos coeficientes de rugosidade no MDE;
- Delimitação do domínio da simulação;
- Definição das condições de contorno a montante e a jusante (USACE, 2023).

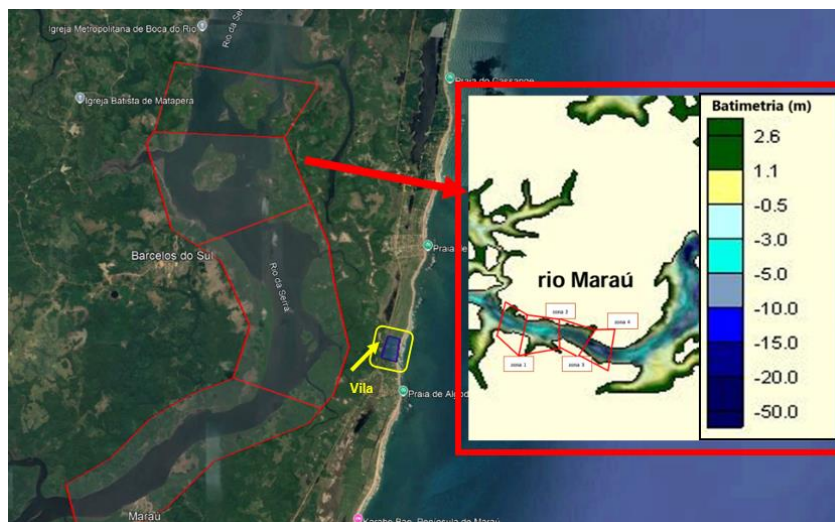
O MDE utilizado no estudo foi o da ANADEM, em coordenadas UTM zona 24S, no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). O ANADEM é um Modelo Digital de Elevação com ajuste do viés de vegetação presente no Copernicus GLO-30. Possui resolução de 30 metros, abrange a América do Sul e foi desenvolvido pelo IPH/UFRGS em colaboração com a ANA (Laipelt et al., 2024).

Definição do Trecho e Características do Rio

Na sequência, foi inserido as representações das seções transversais do rio da Serra no MD. Por meio do estudo de Menezes (2011), obteve-se o mapa batimétrico do rio com a distribuição de

profundidades ao longo da área de estudo. O mapa foi desenvolvido com base nas cartas náuticas 1100 e 1131 da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) da Marinha do Brasil. A partir dessas informações, foi possível estimar a representação das seções transversais do rio Maraú, sendo considerado profundidades constantes em três zonas definidas conforme o mapa batimétrico no trecho, utilizando seções quadradas (figura 2).

Figura 2 – Delimitação do trecho simulado e Mapa Batimétrico



Fonte: Adaptado Menezes (2011)

As profundidades das zonas estão apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 – Profundidades (h) das zonas delimitadas

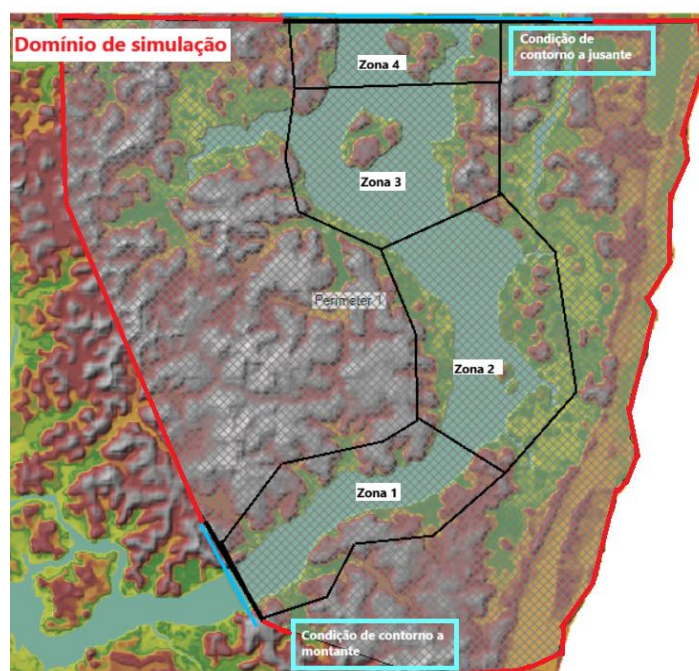
| Zona | Profundidade (m) |
|------|------------------|
| 1 | -3 |
| 2 | -5 |
| 3 | -7.5 |
| 4 | -10 |

Configuração do modelo

Após a definição das características das seções transversais do rio, o MDE, delimitou-se o domínio computacional da simulação e as condições de contorno, conforme ilustrado na figura 3.

Posteriormente, foi adicionado um mapa de uso e cobertura do solo do MapBiomas Coleção 9 (MapBiomas, 2024). Para cada classe de uso, atribuiu-se um coeficiente de rugosidade de Manning (n) conforme a classificação de Porto (2006). Esses valores são utilizados na resolução numérica do modelo.

Figura 3 – Modelo hidrodinâmico do Rio da Serra



A tabela 2 apresenta as classes identificadas no domínio de simulação e os respectivos valores de rugosidade.

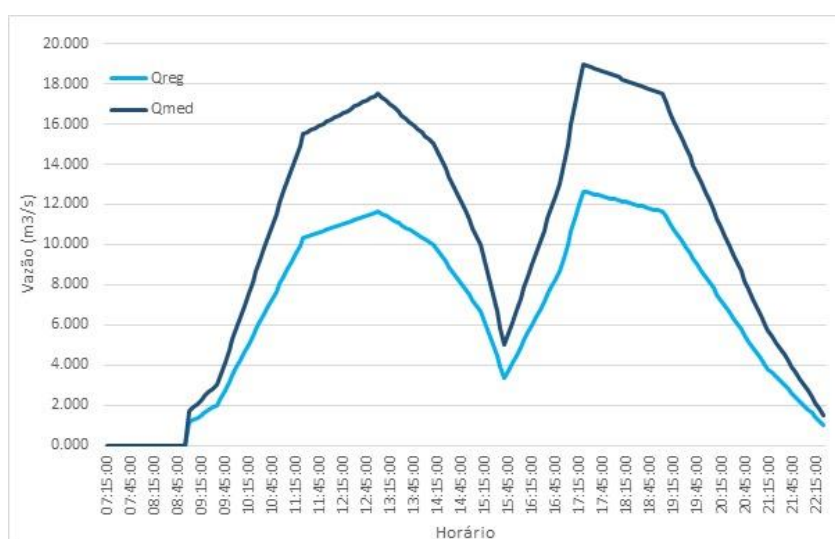
Tabela 2 – Classes de uso e respectivas rugosidades

| Classe de uso | Coef. Manning (n) |
|---------------------------------|-------------------|
| Água | 0.030 |
| Formação florestal | 0.035 |
| Mangue | 0.040 |
| Restinga | 0.040 |
| Apicum | 0.030 |
| Restinga arbórea | 0.035 |
| Campo alagado | 0.030 |
| Outras formações não florestais | 0.030 |
| Pastagem | 0.030 |
| Mosaico de usos | 0.030 |
| Praia | 0.030 |
| Área urbanizada | 0.025 |
| Outras áreas não vegetadas | 0.025 |

Condições de contorno

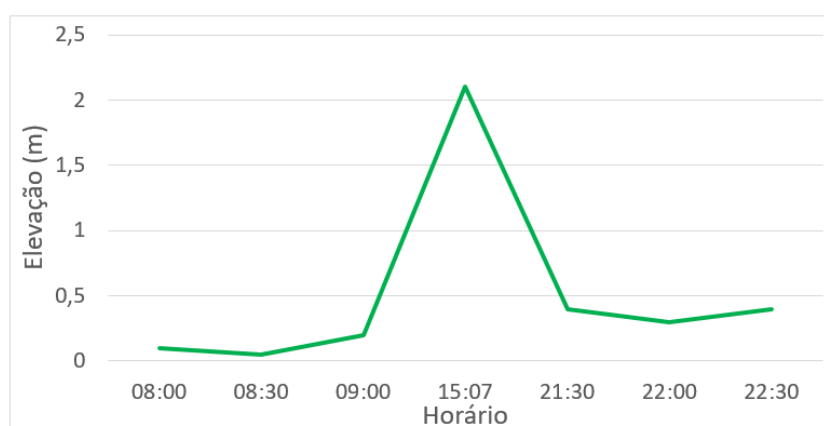
A condição de contorno a montante consistiu em um hidrograma de entrada em escala subdiária, obtido do estudo de Amorim (2005) na Baía de Camamu, que realizou medições com um perfilador de correntes marinhas durante 13 horas. Como as medições ocorreram a jusante do domínio de simulação, foi necessária a regionalização das vazões por correlação de área, seguindo a metodologia de Tucci (2002). Após a regionalização, as vazões do hidrograma medido foram reduzidas em 33%. A figura 4 apresenta o hidrograma medido (Q_{med}) por Amorim (2005) e o hidrograma regionalizado (Q_{reg}).

Figura 4 – Hidrograma medido e regionalizado



A Figura 5 apresenta a elevação da maré utilizada como condição de contorno a jusante.

Figura 5 – Condição de contorno a jusante

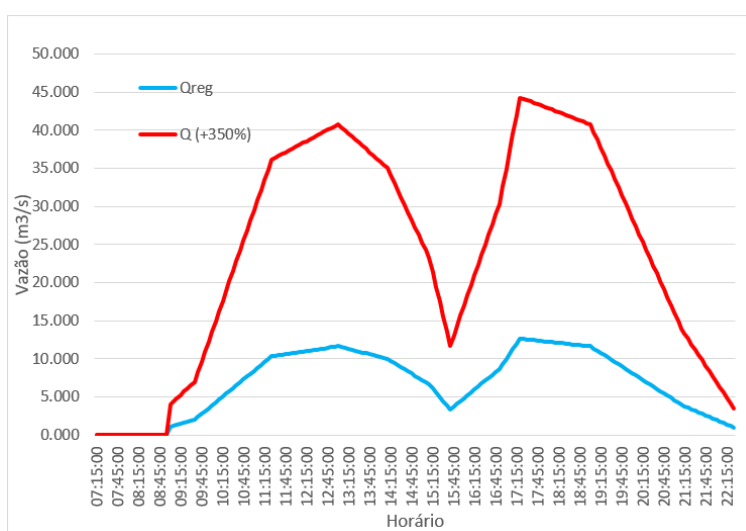


Na sequência foi configurado o período de simulação de 14 horas na data de 21 de julho de 2005, seguindo o mesmo período dos dados secundários encontrados e propagado o hidrograma regionalizado. Por fim, esse hidrograma regionalizado foi sendo aumentado progressivamente até que a Vila fosse atingida pela mancha de inundação devido ao extravasamento da calha do rio da Serra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A modelagem indicou que para o hidrograma regionalizado atingisse o condomínio da área de estudo, as vazões precisam aumentar em torno 350% (figura 6).

Figura 6 – Hidrograma regionalizado e extrapolado



Os resultados da propagação dos hidrogramas no rio Maraú são apresentados nas figuras 7 e 8, que mostram os mapas de inundação para o período simulado (8:00 às 22:00 do dia 21 de julho de 2005).

Figura 7 – Simulação do hidrograma regionalizado

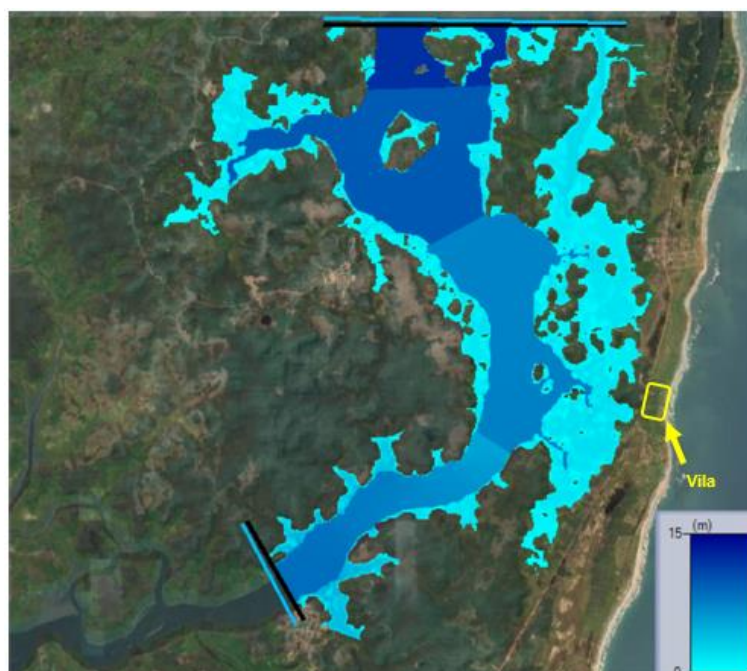
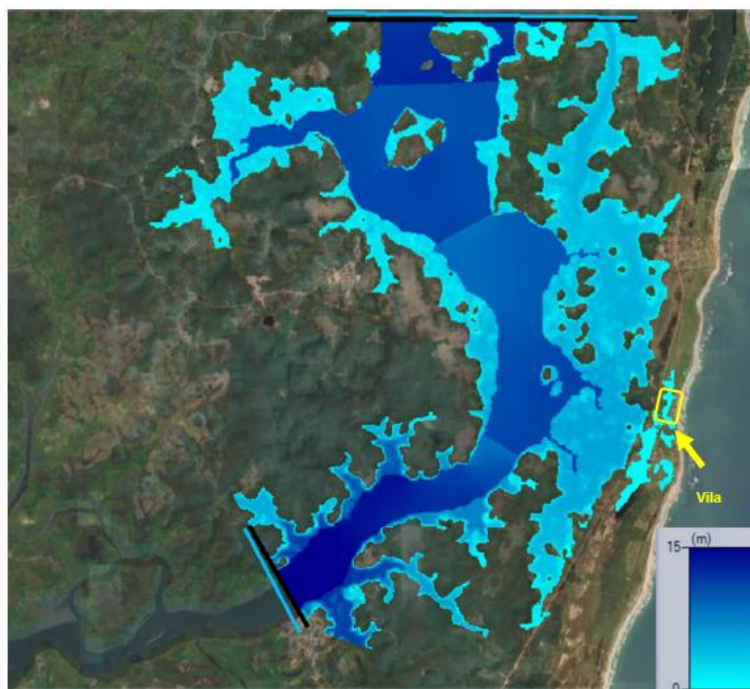


Figura 8 – Simulação do hidrograma regionalizado extrapolado



Vale destacar que as medições do hidrograma ocorreram em julho, durante o período seco. Portanto, é plausível que o regime de vazões do rio, assim como a contribuição do aquífero na bacia, possa aumentar nos meses subsequentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem hidráulica realizada com o HEC-RAS permitiu avaliar os impactos de aumentos nas vazões do rio da Serra sobre a vila costeira, localizada na bacia hidrográfica do estuário do rio Maraú/Serra. Os resultados indicam que, para que ocorra extravasamento da calha do rio e inundação na área estudada, seria necessário um incremento de 350% nas vazões em relação ao cenário regionalizado.

A metodologia adotada, baseada em um modelo bidimensional de escoamento não permanente, demonstrou eficácia na simulação de manchas de inundação, considerando características topográficas, rugosidade do terreno e condições de contorno representativas. Ressalta-se, porém, que os dados de entrada utilizados correspondem ao período seco (julho/2005), o que sugere que vazões mais elevadas podem ocorrer em outras épocas do ano, aumentando o risco de inundação.

Os resultados obtidos fornecem subsídios para gestão de riscos e planejamento territorial na região, destacando a necessidade de monitoramento contínuo das vazões e de estudos complementares que considerem eventos extremos e variações sazonais. Recomenda-se, ainda, a validação do modelo com dados observados em períodos chuvosos para maior robustez das análises futuras.

AGRADECIMENTOS

À Origem Ambiental, pela viabilização deste trabalho, e à Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), pelo apoio técnico e acadêmico.

REFERÊNCIAS

AMORIM, E. (2005). *Caracterização oceanográfica da Baía de Camamu e adjacências e mapeamento das áreas de risco a derrames de óleo*. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

COLLISCHONN, W. et al. Chuvas sem precedentes de abril a maio de 2024 no Sul do Brasil definem novo recorde. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/9773/version/10329>. Acesso em: 5 jun. 2025.

KOBIYAMA, M. et al. LIÇÕES APRENDIDAS COM GRANDES DESASTRES RECENTES CAUSADOS POR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS NO BRASIL. REVISTA GEONORTE, [s. l.], v. 14, n. 46, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/13260>. Acesso em: 11 fev. 2025.

LAIPELT, R.; ANDRADE, B. C. de; RUHOFF, A.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. (2024). *ANADEM-BR: a high-resolution topographic dataset for Brazil adjusted to the GLO-30*. [Preprint]. Preprints.org. Disponível em: <https://doi.org/10.20944/preprints202404.1305.v1>. Acesso em: 9 jun. 2025.

MAPBIOMAS. (2024). *Coleção 9 do MapBiomas Brasil – Série histórica de cobertura e uso da terra do Brasil*. [S. l.]: MapBiomas. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 9 jun. 2025.

MARENGO, J. A. et al. Heavy rainfall associated with floods in southeastern Brazil in November–December 2021. *Natural Hazards*, [s. l.], v. 116, n. 3, p. 3617–3644, 2023.

MENEZES, F. O. de S. (2018). *Modelagem hidrodinâmica da Baía de Camamu*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MIGUEZ, M.G; DI GREGORIO, L. T.; VERÓL, A.P (2018). “*Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos*. Rio de Janeiro: Elsevier”

PORTO, R. M. (2006). *Hidráulica Básica*. 4. ed. São Carlos: EESC/USP.

TUCCI, C. E. M. (2002). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.

USACE – U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. (2023). *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual, Version 6.3*. Davis, CA: Hydrologic Engineering Center.