IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO URBANA COM O MODELO HAND: ESTUDO DE CASO NA MICROBACIA DO IGARAPÉ ORIUNDO EM ITAITUBA, PARÁ.

John Witysel Santos Rodrigues [1]
Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior [2]

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo identificar áreas suscetíveis à inundação urbana na microbacia do Igarapé Oriundo, localizada no município de Itaituba, Pará, por meio da aplicação do modelo HAND (*Height Above Nearest Drainage*). A pesquisa foi motivada pela recorrência de eventos de inundação associados à ocupação urbana desordenada e à fragilização dos sistemas naturais de drenagem. Para a análise, foram utilizados três Modelos Digitais de Elevação (MDEs) – ALOS, Copernicus e SRTM, todos com resolução de 30 m, processados em ambiente SIG. As áreas de suscetibilidade foram classificadas em cinco níveis, variando de muito alta a muito baixa. Os resultados indicaram diferenças entre os modelos, com o ALOS e o SRTM apresentando maior sensibilidade na identificação de áreas de risco elevado, enquanto o Copernicus concentrou maior extensão em classes de menor risco. De forma geral, as áreas classificadas como de risco muito alto e alto variaram entre 8% e 31,84% da microbacia, concentrando-se próximas ao leito do igarapé. Adicionalmente, o mapeamento da ocupação urbana na Área de Preservação Permanente (APP) identificou 522 domicílios inseridos na faixa de proteção, evidenciando elevada vulnerabilidade socioambiental. Conclui-se que o modelo HAND constitui uma ferramenta eficiente para o mapeamento de áreas inundáveis em regiões com escassez de dados, contribuindo para o planejamento urbano e a gestão de riscos.

INTRODUÇÃO

Historicamente, as inundações configuram-se como problemas recorrentes no ambiente urbano, sendo intensificadas pelo processo de ocupação desordenada e acelerada, frequentemente dissociado de um planejamento integrado de infraestrutura básica. Esse cenário resulta em alterações no regime hidrológico, com aumento da impermeabilização do solo, redução da infiltração e intensificação do escoamento superficial (Ferreira; Castro; Morais, 2026).

No contexto global, o relatório *The Human Cost of Disasters* 2000–2019 (UNDRR; CRED, 2020) aponta que, entre 2000 e 2019, foram registrados 7.348 grandes

[1] Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, johnwitysel@outlook.com;
[2] Professor Adjunto do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco – UPE, mabsj@poli.br.

desastres, afetando cerca de 4,2 bilhões de pessoas e causando 1,23 milhão de mortes, além de prejuízos econômicos estimados em US$ 2,97 trilhões. Destaca-se, nesse período, o aumento expressivo das inundações, que mais que dobraram, passando de 1.389 para 3.254 eventos, consolidando-se, juntamente com as tempestades, como os desastres mais frequentes. Nesse sentido, as inundações urbanas ampliam a exposição de populações vulneráveis, intensificando impactos socioeconômicos.

Diante disso, o mapeamento de áreas afetadas e a delimitação de manchas de inundação configuram-se como ferramentas essenciais para a gestão de riscos, pois permitem identificar a magnitude dos eventos, reconhecer áreas críticas e subsidiar ações de mitigação e planejamento urbano (Salviano, 2024; Zanandrea *et al.*, 2019; Silva; Silva; José, 2023). Ademais, Zhou *et al*. (2024) destacam a importância da quantificação dos benefícios econômicos associados à redução de danos, auxiliando na tomada de decisão e na justificativa de investimentos em infraestrutura urbana.

No contexto amazônico, a cidade de Itaituba, localizada no sudoeste do Pará, apresenta um processo de ocupação fortemente condicionado à proximidade com os cursos d'água. Conforme Schuber e Morais (2015), o crescimento urbano ocorreu a partir da orla do rio Tapajós, avançando para o interior ao longo da Rodovia Transamazônica. A intensificação desse processo, especialmente durante a chamada "década áurea da garimpagem" (1980–2000), resultou em expansão urbana desordenada, sem o devido acompanhamento de infraestrutura básica, como sistemas de saneamento.

Sob a perspectiva ambiental, Paz (2024) destaca que os processos naturais são intrinsecamente espaciais, sendo influenciados por características físicas e pelas escalas de análise. Nesse contexto, os parâmetros hidrológicos estão diretamente relacionados à área de influência das bacias hidrográficas, cuja delimitação pode ser realizada a partir de cartas topográficas ou imagens de satélite, utilizando técnicas de geoprocessamento (Rodrigues; Silva Junior, 2024).

Adicionalmente, Tucci (2007) ressalta a importância do uso de técnicas de sensoriamento remoto associadas à modelagem hidrodinâmica na elaboração de mapas de inundação, permitindo maior eficiência e redução de custos em levantamentos de campo. No entanto, a disponibilidade de dados de alta resolução espacial, especialmente

em regiões com elevada cobertura de nuvens, ainda constitui uma limitação para tais análises (Silva; Silva; José, 2023).

Diante dessas limitações, e considerando a escassez de dados de monitoramento na área de estudo, optou-se pela utilização do modelo HAND (*Height Above Nearest Drainage*), que se apresenta como uma alternativa eficiente para a identificação de áreas suscetíveis à inundação a partir de dados altimétricos. Conforme González-Ávila *et al*. (2023), o modelo HAND é particularmente útil em regiões com baixa disponibilidade de dados, embora sua precisão esteja diretamente relacionada à qualidade e resolução do Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado.

MATERIAIS E MÉTODOS

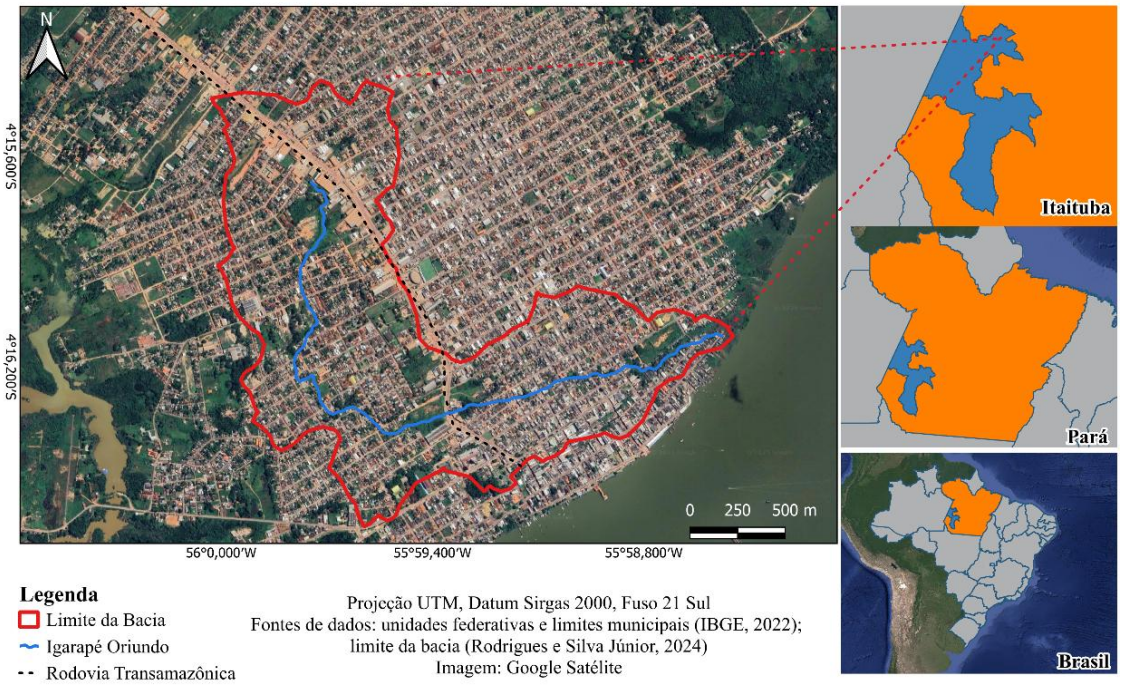
Área de Estudo

Na presente pesquisa, o objeto de estudo corresponde à área de macrodrenagem natural do Igarapé Oriundo, localizado no município de Itaituba, no sudoeste do Pará. O curso d'água encontra-se totalmente inserido no núcleo urbano (Figura 1), com extensão aproximada de 4 km, desaguando no rio Tapajós, o que caracteriza sua microbacia, com área de 2,73 km², como uma sub-bacia da Bacia do rio Tapajós. O igarapé apresenta seção hidráulica natural, sem revestimento e com geometria irregular, incluindo trechos retificados e estreitados, com largura variando entre 2,4 e 8,5 m, em decorrência da ocupação ribeirinha, do depósito de resíduos e do assoreamento (Rodrigues e Silva Junior, 2024). O clima da região é quente e úmido, com temperaturas mínimas superiores a 18 °C, umidade relativa acima de 80% e estação chuvosa intensa entre dezembro e junho, totalizando cerca de 2065 mm anuais (Pontes *et al.*, 2013). Ademais, Rodrigues *et al*. (2024) destacam que grande parte dos impactos observados no igarapé está associada à ocupação irregular de suas margens e ao lançamento de esgoto e resíduos sólidos.

Tais fatores antrópicos contribuem para a fragilização da macrodrenagem natural do igarapé, comprometendo seu desempenho hidráulico em eventos extremos de chuva. Em 11 de maio de 2023 fora registrado um evento extremo de precipitação ocorrido em

Itaituba. Segundo Silva Junior *et al.* (2023), tal evento totalizou 188 mm entre 8h45 e 14h30, sendo 128,8 mm precipitados em apenas duas horas, promovendo uma série de alagamentos na cidade. Por conseguinte, conforme os autores, fora o maior registro de acumulado de diário chuvas desde 1960, totalizando 194,6 mm precipitados em um único dia, referente a 93% da chuva total prevista para o mês de maio e sendo caracterizado com um tempo de retorno calculado em 121 anos e, logo, um evento raro. Além disso, os autores identificaram como as áreas com maiores impactos observados foram nas áreas baixas da cidade, nas proximidades do Igarapé Oriundo, com registros de lâmina d'água em torno dos 70 cm acima do terreno.

Figura 1 – Limites da microbacia de drenagem do Igarapé Oriundo.



Fonte: Autores (2026).

Software HAND Model

O *software* HAND Model (*Height Above Nearest Drainage* – altura acima da drenagem mais próxima) foi desenvolvido por equipes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

(CEMADEN), com o objetivo de aprimorar a precisão de mapas de inundação. O modelo utiliza técnicas de análise espacial associadas a dados de elevação corrigidos para estimar áreas suscetíveis à acumulação de água durante eventos de chuva intensa.

O HAND Model "prevê" o escoamento da água sobre a superfície do terreno. Segundo González-Ávila *et al.* (2023), o modelo considera a proximidade em relação aos canais de drenagem e a variação altimétrica entre o canal mais próximo e a área analisada, permitindo identificar as regiões mais suscetíveis à inundação.

Fazendo uso do modelo supracitado, adotou-se o seguinte processo:

1. **Definição da área de estudo:** Devido à falta de dados para a microbacia do Oriundo, adotou-se o vetor de drenagem delimitado por Rodrigues e Silva Júnior (2024);
2. **Obtenção do MDE (Modelo Digital de Elevação):** Utilizou-se a ferramenta plug-in *OpenTopography* no *software* QGIS, para a obtenção de três MDEs de referência: ALOS, Copernicus e SRTM, todos com resolução espacial de 30 × 30 m;
3. **Correção do MDE:** O MDE foi reprojetado para o sistema de coordenadas adequado à área de estudo, neste caso UTM zona 21S, e submetido ao preenchimento de vazios, a fim de garantir a consistência dos dados altimétricos;
4. **Processamento no HAND Model:** O MDE corrigido foi inserido no *software* por meio da opção *Load Project/File*;
5. **Geração do HAND:** Na ferramenta *Dem2HAND*, selecionou-se o MDE de entrada e definiu-se o limiar (*Threshold*) adequado à área estudada, usando o valor de 1000 m;
6. **Classificação dos resultados:** O *raster* HAND gerado foi importado para o QGIS e reclassificado por meio da ferramenta "Reclassificar por tabela", adotando-se classes de inundação: Muito alta (0–1 m), Alta (1–5 m), Média (5–10 m) e Baixa (10–25 m).

Mapeamento e identificação da ocupação urbana irregular em APP

Considerando que, para cursos d'água com largura inferior a 10 m, a Área de Preservação Permanente (APP) corresponde a uma faixa de 30 m (BRASIL, 2012), foi gerado um *buffer* a partir do eixo do igarapé. Com a imagem de satélite de 2025, realizou-se a identificação e contagem manual dos domicílios inseridos na área delimitada da APP.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Identificação das áreas suscetíveis à inundação

A aplicação do modelo HAND, utilizando diferentes MDEs (ALOS, Copernicus e SRTM), permitiu identificar e quantificar as áreas suscetíveis à inundação na microbacia do Igarapé Oriundo, evidenciando variações significativas entre os produtos analisados.

O ALOS apresentou maior representatividade das áreas classificadas como de risco muito alto (11,30%) e alto (20,54%), indicando maior sensibilidade na identificação de regiões mais suscetíveis à inundação. Similarmente, o SRTM também apresentou valores expressivos para essas classes (13,30% e 17,33%, respectivamente), reforçando a presença de áreas críticas próximas ao leito do igarapé. Em contrapartida, o Copernicus apresentou valores significativamente inferiores para as classes de maior risco (0,83% e 7,17%), concentrando maior área nas classes de risco médio e baixo, indicando menor sensibilidade altimétrica em áreas planas (Tabela 1 e Figura 2).

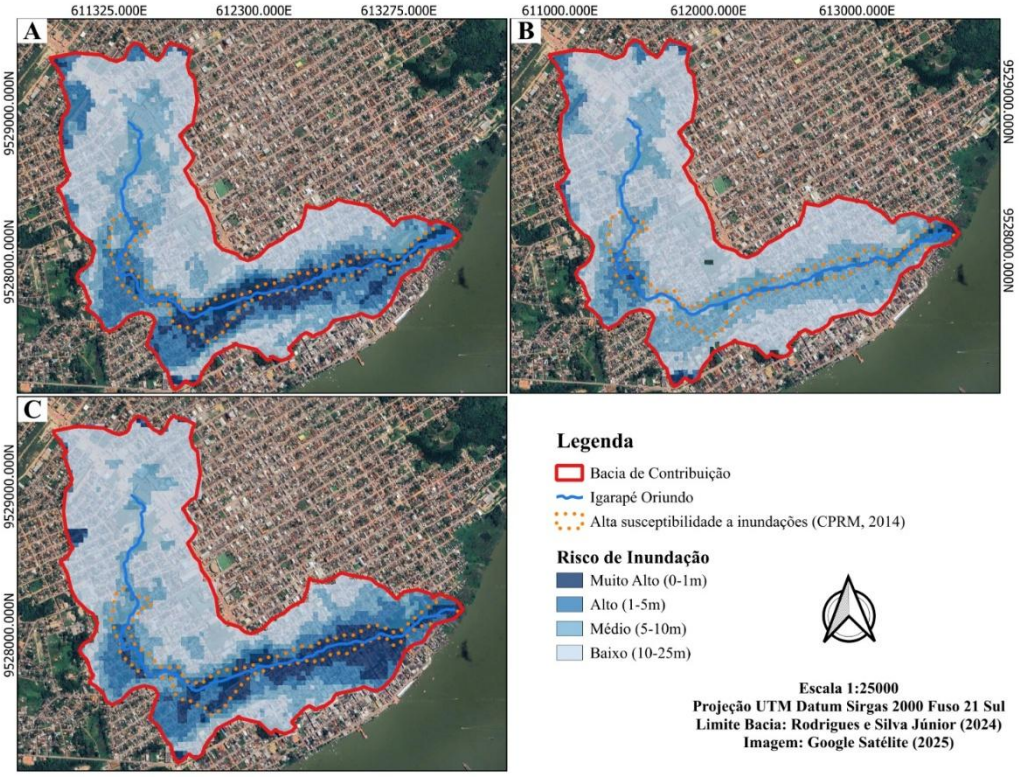
Em linhas gerais, observa-se que as áreas classificadas com risco muito alto e alto à inundação variam entre 8% (Copernicus) e 31,84% (ALOS) do território da microbacia, correspondendo à 0,22 km² e 0,87 km², respectivamente. CPRM (2026) indica que 9,33% do território de Itaituba apresenta alta suscetibilidade à inundação. Para a CPRM (2014), o igarapé possui uma área de inundação de 0,321 km², visto na Figura 2, validando os resultados e com uma mancha similar ao ALOS. Com relação a diferença observada entre o Copernicus e demais modelos (ALOS e SRTM), esta pode estar associada à resolução espacial, à qualidade dos dados e aos métodos de processamento usados em cada MDE, reforçando o valor da escolha adequada da base altimétrica na análise de inundação, em especial nas áreas urbanas com relevo pouco acentuado, como o caso da área estudada.

Tabela 1 – Suscetibilidade à inundação por classe de risco, segundo ALOS, Copernicus e SRTM.

NÍVEL		RISCO	ALOS 30		COPER 30		SRTM 30	
			km²	%	km²	%	km²	%
	0-1m	Muito Alto	0,3107	11,3064	0,0227	0,8273	0,3657	13,3058
	1-5m	Alto	0,5646	20,5446	0,1970	7,1699	0,4765	17,3388
	5-10m	Médio	0,6707	24,4054	0,8555	31,1272	0,5258	19,1313
	10-25m	Baixo	1,1226	40,8480	1,6389	59,6346	1,3803	50,2241

Fonte: Autores (2026).

Figura 2 – Suscetibilidade à inundação na microbacia do Igarapé Oriundo pelo modelo HAND: (A) ALOS, (B) Copernicus e (C) SRTM.



Fonte: Autores (2026).

É válido destacar que, segundo Motomura (2025), o MDE Copernicus passa por refinamento com remoção de elementos da superfície (como a vegetação), representando a topografia "nua", sem obstáculos. Assim, o modelo reflete apenas as características morfométricas da microbacia do Oriundo que, conforme Rodrigues e Silva Júnior (2024), indicam menor suscetibilidade a enchentes, em função do seu formato alongado, relevo suave e resposta hidrológica mais lenta. Em contrapartida, ainda conforme os autores, em bacias pequenas, o escoamento superficial predomina, e a impermeabilização intensifica os picos de cheia e amplia a área inundada.

Análise da ocupação urbana na APP do Igarapé Oriundo

O mapeamento da ocupação urbana na APP do Igarapé Oriundo identificou um total de 522 edificações inseridas na faixa de proteção, evidenciando ocupação intensa e contínua ao longo do curso d'água (Figura 3).

Figura 3 – Ocupação urbana na faixa da APP do Igarapé Oriundo.



Fonte: Autores (2026).

No mapa da Figura 3 anterior, observa-se uma maior concentração de edificações nos trechos centrais e próximos a confluência com o Rio Tapajós, em ambas as margens, com escassa vegetação ciliar. Esse padrão indica elevado grau de intervenção antrópica (Figura 4), contribuindo para a degradação ambiental e redução da capacidade hidráulica do igarapé, em função do estreitamento do canal, deposição de resíduos e intensificação do assoreamento. Nos trechos mais ocupados, a proximidade das edificações ao curso d'água evidencia alta vulnerabilidade a inundações, devido às baixas cotas altimétricas.

Figura 4 – Registros de ocupações irregulares nas margens e leito do Igarapé Oriundo em 2023 e 2025.



Fonte: Autores (2026).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que o modelo HAND é uma ferramenta eficaz para a identificação de áreas suscetíveis à inundação em ambientes urbanos, especialmente em regiões com pouca disponibilidade de dados hidrológicos e topográficos. A comparação entre os MDEs evidenciou variações na delimitação das áreas de risco, destacando a influência da qualidade e resolução dos dados altimétricos na precisão dos resultados. Nesse sentido, recomenda-se o uso de dados que representem com maior fidelidade a topografia real, com resolução espacial mínima de 1 metro, conforme González-Ávila *et al.* (2023) e Zanandrea *et al.* (2019).

A análise espacial indicou que uma parcela significativa da microbacia apresenta alta suscetibilidade à inundação, concentrada principalmente nas áreas próximas ao leito do Igarapé Oriundo, ocupando uma área de 8 a 31,84% do território da microbacia. Esse cenário é agravado pela intensa ocupação irregular da APP, onde foram identificadas 522 edificações, evidenciando elevada vulnerabilidade socioambiental e comprometimento da capacidade hidráulica do sistema de drenagem natural.

O estudo reforça a importância da integração entre geoprocessamento, modelagem espacial e planejamento urbano, subsidiando a tomada de decisão voltada à mitigação de riscos. Para a área estudada, recomenda-se o uso de medidas estruturais e não estruturais, incluindo a recuperação de áreas degradadas, controle da ocupação em APPs e ações de educação ambiental, visando à redução dos impactos associados às inundações urbanas.

Palavras-chave: Drenagem Urbana; Inundação; HAND; SIG; Amazônia.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Diário Oficial da União, Brasília.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (2026). **Dashboard: Carta de Suscetibilidade**. Disponível em: https://geoportal.sgb.gov.br/portal/apps/dashboards/d55b875b15f6489e957fe9dd4ee5ee4b. Acesso em: 07 mai. 2026.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (2014). **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Itaituba - PA**. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14989. Acesso: 07 mai. 2026.

FERREIRA, E. C.; CABRAL, J. J. S. P.; MORAES, M. M. G. A. Modelagem hidrológica e otimização multiobjetivo para mitigação de inundações urbanas: uma abordagem baseada na fronteira de Pareto. **Rev. Bras. Geografia Física**, v. 19, n. 1, p. 33-47, 2026.

GONZÁLEZ ÁVILA, I. et al. **Comparação do mapa de inundação entre dois modelos digitais de diferentes resoluções em uma comunidade rural em Santa Catarina.** In: Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, 2023, p 1-8.

MOTOMURA, K. **Digital Elevation Models Compared: SRTM, ALOS, Copernicus DEM, and When to Use Each.** Blog Off-Nadir Delta, 16 de novembro de 2025. Disponível em: https://offnadir-delta.com/blog/digital-elevation-models-dem-comparison. Acesso: 07 mai. 2026.

PAZ, A. R. **Modelos digitais de elevação para estudos ambientais**. Porto Alegre, RS: ABRHidro, v. 1, 2024, 422 p.

PONTES, M. L. et al. **Balanço Hídrico para a cidade de Itaituba**. In: Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belém, 2013.

RODRIGUES, J. W. S et al. **Diagnóstico ambiental baseado no protocolo de avaliação rápida (PAR) como contribuição ao processo de revitalização do Igarapé Oriundo, em Itaituba-PA.** In: Anais do XV Encontro Nacional de Águas Urbanas e V Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, Recife, 2024, pp. 1-10.

RODRIGUES, J. W. S.; SILVA JUNIOR, M. A. B. Caracterização morfo-hidrológica de pequena bacia amazônica como subsídio ao processo de revitalização de rio urbano. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 12, p. 84-99, 2024.

SALVIANO, M. F.; ALVES, L. G. S. **Delimitação da Mancha de Inundação do Rio Pomba na zona urbana de Santo Antônio de Pádua-RJ**. São Paulo: CPRM, 2024, 19 p.

SCHUBER, E. S. M.; MORAES, S. C. Desenvolvimento Regional do Tapajós: Um Olhar Sob o Cenário Socioeconômico na Região de Integração do Tapajós. **Revista de Estudos Sociais**, v. 17, n. 34, p. 93–111, 2015.

SILVA JUNIOR, M. A. B et al. **Eventos extremos de precipitação em cidades amazônicas: uma análise dos impactos em Itaituba, sudoeste do Pará**. In: Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, 2023, p. 1-10.

SILVA, F. V.; SILVA, S. S.; JOSÉ, J. V. **Mapeamento da mancha de inundação do Rio Juruá em 2019 e 2021 no Município de Eirunepé - Amazonas**. In: Anais do II Simpósio em Ciências Ambientais na Amazônia Sul-Ocidental, Cruzeiro do Sul, 2023, p.1-5.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007. 943 p.

UNDRR; CRED. The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000–2019). **United Nations Office for Disaster Risk Reduction**, p. 30, 2020.

ZANANDREA, F. et al. **Capacidade do modelo hand na representação de uma mancha de inundação comparado ao modelo hidrodinâmico HEC-RAS 2D**. In: Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu, 2019, p. 1-10.

ZHOU, Y. et al. Evaluation of urban environmental sustainability based on the integration of multi-improvement demands: a case study of Liaoning Province, China: Y. Zhou et al. **Environment, Development and Sustainability**, v. 26, n. 7, p. 18761-18783, 2024.