



## Avaliação da suscetibilidade a enchentes e inundações na Sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz-MA

***Assessment of susceptibility to flooding in the Bacuri Stream Sub-basin, Imperatriz-MA***

**Vanessa Trindade da Silva** 

Graduanda em Geografia

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

e-mail, [vanessa03st@gmail.com](mailto:vanessa03st@gmail.com)

**Antonio Assunção Coelho Neto** 

Engenheiro Civil

Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão, Brasil

e-mail, [neto060519@hotmail.com](mailto:neto060519@hotmail.com)

**Thaís Chaves da Silva** 

Graduanda em Geografia

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

e-mail, [thaischavest5@gmail.com](mailto:thaischavest5@gmail.com)

**Fellype Amorim Carvalho** 

Graduando em Geografia

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

e-mail, [fellype.carvalho@uemasul.edu.br](mailto:fellype.carvalho@uemasul.edu.br)

**Aichely Rodrigues da Silva** 

Doutora em Geografia

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

e-mail, [aichely.rodrigues@uemasul.edu.br](mailto:aichely.rodrigues@uemasul.edu.br)

### Resumo

A urbanização desordenada, a impermeabilização do solo e a ocupação irregular de várzeas aumentam a vulnerabilidade das bacias hidrográficas urbanas aos riscos hidroclimáticos. No município de Imperatriz, Maranhão, esses fenômenos ocorrem sazonalmente, afetando tanto áreas centrais quanto periféricas, com destaque para os bairros localizados na Sub-bacia do Riacho Bacuri. Nesse contexto, esta pesquisa



<https://doi.org/10.28998/contegeo.10i.24.20015>

Artigo publicado sob a Licença Creative Commons 4.0

Submetido em: 21/08/2025

Aceito em: 31/10/2025

Publicado: 16/12/2025

e-Location: 20015

Contexto Geográfico | Maceió | v. 10, n. 24 | pág. 438 - 459 | Dez/2025

438

objetiva mapear as áreas suscetíveis a esses eventos na referida sub-bacia, utilizando o modelo preditivo *Height Above the Nearest Drainage (HAND model)*. Os resultados indicam redução nas precipitações entre os anos de 2013 e 2023 e alta vulnerabilidade das moradias situadas próximo às margens do riacho. A aplicação do *HAND Model* demonstrou que, quanto menor a distância em relação ao curso d'água, maior é a exposição da população a eventos hidrológicos extremos. O mapeamento de áreas vulneráveis à inundações mostra-se, portanto, essencial para o planejamento territorial e para a implementação de estratégias eficazes de prevenção de desastres.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade; risco hidrológico; modelagem espacial; *HAND Model*.

### **Abstract**

*Unplanned urbanization, soil sealing and irregular occupation of floodplains increase the vulnerability of urban watersheds exposure to hydroclimatic hazards. In the municipality of Imperatriz, Maranhão, these phenomena occur seasonally, affecting both central and peripheral areas, especially neighborhoods located in the Bacuri Stream Sub-basin. In this context, this research aims to map the areas susceptible to these events in the aforementioned sub-basin, using the Height Above the Nearest Drainage (HAND) predictive model. The results indicate a reduction in rainfall between 2013 and 2023 and high vulnerability of homes located near the banks of the stream. The application of the HAND Model demonstrated that the shorter the distance from the watercourse, the greater the population's exposure to extreme hydrological events. Mapping areas vulnerable to flooding is therefore essential for territorial planning and for the implementation of effective disaster prevention strategies.*

**Keywords:** Vulnerability; hydrological risk; spatial modeling; *HAND Model*.

### **INTRODUÇÃO**

A expansão urbana provoca intervenções diretas nos sistemas fluviais, como, por exemplo, a construção de reservatórios e sistemas de drenagem, a retificação e ampliação de canais, a implantação de margens e diques artificiais, a disposição de aterros sobre planícies de inundações e a ocupação generalizada de áreas originalmente inundadas (Luz e Rodrigues, 2020).

A suscetibilidade de uma área diz respeito à sua tendência natural a sofrer determinados tipos de impactos ou desastres ambientais, considerando suas características físicas, climáticas e de uso do solo (Silva e Silva, 2018; Brêda et al., 2024). A suscetibilidade de uma área refere-se à sua tendência natural a sofrer determinados tipos de impactos ou desastres ambientais, dependendo de suas características físicas, climáticas e de uso do solo (Mendiondo e Tucci, 2010). Em bacias hidrográficas urbanizadas, a expansão desordenada, a impermeabilização do

solo e a ocupação irregular de áreas de várzea aumentam significativamente essa suscetibilidade a fenômenos como inundações e enchentes.

Diferentemente da vulnerabilidade, que envolve aspectos sociais, econômicos e institucionais, a suscetibilidade é uma dimensão predominantemente física do risco (Cutter, 1996; Wisner et al., 2004). A análise da suscetibilidade é fundamental para o planejamento urbano e a gestão de riscos, pois permite identificar áreas críticas e orientar políticas públicas de prevenção e adaptação, em especial no meio urbano.

A vulnerabilidade, por sua vez, resulta da interação entre a exposição aos riscos e a capacidade de enfrentá-los, sendo influenciada por fatores individuais e sociais. A vulnerabilidade é representada o potencial de perda diante de determinados riscos, é uma função da exposição, sensibilidade e resiliência (Cutter, 1996). As populações que vivem perto de corpos hídricos, por exemplo, costumam enfrentar privações mesmo antes da ocorrência de inundações, o que agrava os impactos desses desastres e dificulta a implementação de medidas preventivas. Além disso, a vulnerabilidade não é homogênea: ela é atravessada por questões como classe social, gênero, raça, território, geração e acesso a políticas públicas (Farias e Mendonça, 2022).

No Brasil, o Estado do Maranhão apresenta o menor índice de urbanização do país, com apenas 47% de seu território urbanizado (IBGE, 2024). Na mesma direção, o município de Imperatriz possui apenas 0,2% de área urbanizada, o equivalente a 65,1 km<sup>2</sup>. É uma cidade de porte médio, cujo processo de urbanização desenvolveu-se ao longo dos leitos do Rio Tocantins – principal curso d’água da região – e dos riachos que cortam a cidade. Com o tempo, essa expansão deixou de seguir um padrão contínuo e passou a se tornar mais dispersa, alinhando-se à tendência atual da urbanização brasileira (Santos e Nunes, 2020).

No caso da Sub-bacia do Riacho Bacuri, a elevada taxa de urbanização, somada à ocupação das margens e à redução das áreas de amortecimento natural, intensifica o risco de transbordamentos e de degradação ambiental. Esses fatores tornam a sub-bacia altamente vulnerável a impactos hidrológicos extremos, exigindo ações de planejamento urbano (Porto e Porto, 2008; Claudino et al., 2022).

No meio urbano, é comum que as pessoas associem enchentes e inundações como se fossem o mesmo fenômeno, devido à semelhança entre ambos. No entanto, é importante destacar a diferença: a enchente refere-se à elevação do nível de um curso d’água sem que haja transbordamento. Esse fenômeno tem sua frequência e

magnitude aumentadas principalmente pela impermeabilização do solo e pela presença de redes de drenagem pluvial. Já a inundações ocorre quando há transbordamento do curso d'água, afetando vias públicas, imóveis residenciais, comércios e demais áreas urbanas (Drumond et al., 2023). As inundações são resultado de condições hidrológicas, geológicas e geomorfológicas complexas de desmatamento e urbanização, produzindo danos sociais, econômicos e ambientais substanciais (Komolafe et al., 2020).

Na sub-bacia do Riacho Bacuri, a elevada taxa de urbanização combinada à ocupação de margens e à diminuição das áreas de amortecimento natural, acentua o risco de transbordamentos e de degradação ambiental. Esses fatores tornam a sub-bacia uma área altamente vulnerável aos impactos hidrológicos extremos, exigindo medidas de planejamento urbano.

Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo mapear as áreas suscetíveis a eventos hidrológicos extremos na Sub-bacia do Riacho Bacuri, para isso, utilizando o modelo preditivo *Height Above the Nearest Drainage (HAND model)*. Para compreender os processos dos riscos hidroclimáticos nessa sub-bacia, foi necessário identificar suas características hidrológicas e geomorfológicas, ou seja, aspectos relacionados às condições meteorológicas e às propriedades topo-hidrológicas da região. A análise morfométrica da bacia contribui para avaliar tanto sua suscetibilidade quanto o potencial à erosão e à ocorrência de inundações. Desse modo, foi utilizado o *HAND model* (Cuartas et al., 2012; Rahmati et al., 2018; Soares e Siqueira, 2024), que permite analisar a distribuição espacial de parâmetros hidrológicos associados à topografia, ao solo e à vegetação, a partir de dados de sensoriamento remoto.

O estudo da morfometria de bacias hidrográficas, como realizada neste estudo, é fundamental para compreender a dinâmica hídrica e planejar ações de manejo sustentável. Aliado ao uso do *Hand model* facilita essa análise ao oferecer uma abordagem visual e prática para a interpretação dos dados.

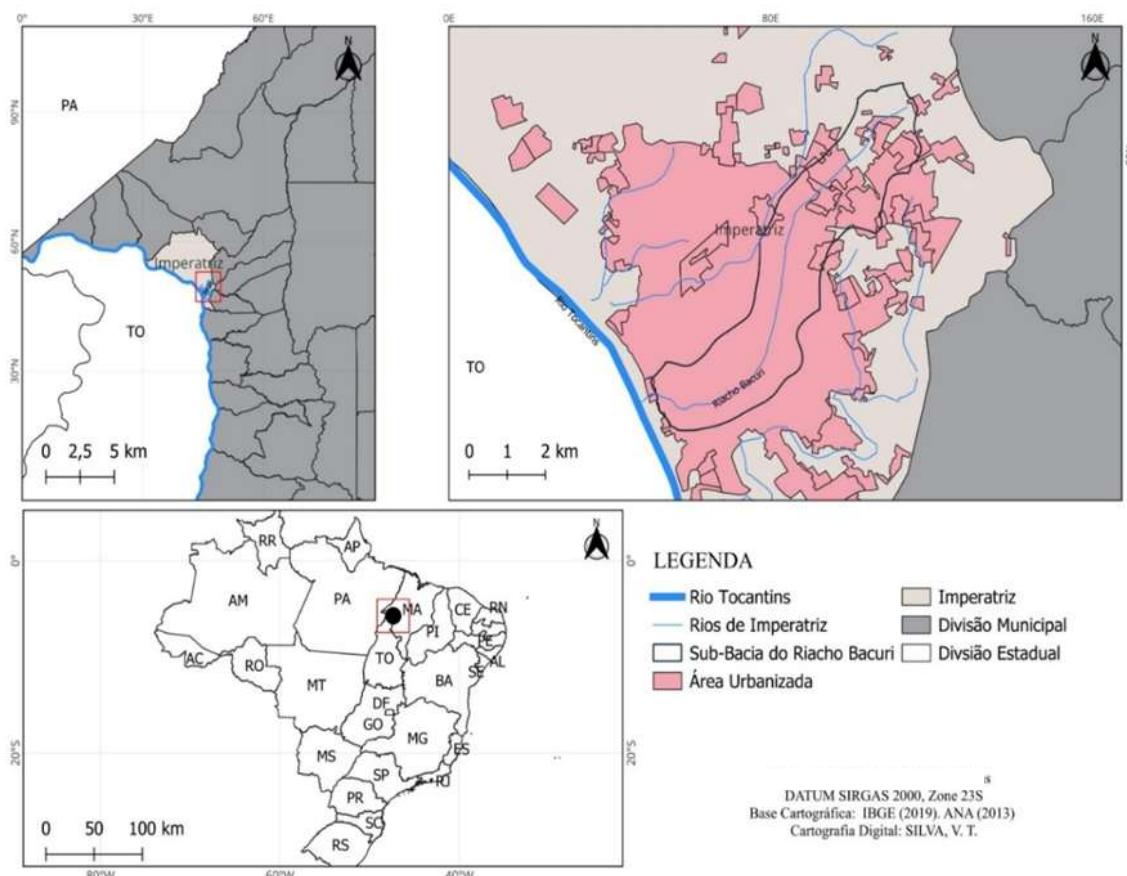
No município de Imperatriz, Maranhão, a Sub-bacia do Riacho Bacuri apresenta intensa ocupação urbana em suas margens e alta vulnerabilidade a eventos hidrológicos, cenário agravado pela deficiência em saneamento básico e pela expansão urbana desordenada (Silva, 2023). Nesse cenário, este estudo torna-se essencial para a identificação de áreas suscetíveis, fornecendo subsídios técnicos que orientem o planejamento urbano e a gestão de riscos (Porto e Porto, 2008). Com esse

estudo espera-se uma análise detalhada da dinâmica dessa sub-bacia. Além disso, sua realização contribui para a formulação de estratégias eficazes que promovam a resiliência das cidades brasileiras diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, garantindo um desenvolvimento urbano mais seguro e sustentável.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O município de Imperatriz, no Maranhão, é o segundo mais populoso do estado, com uma população estimada de 273.110 habitantes e densidade demográfica de 199,49 habitantes/km<sup>2</sup> (IBGE, 2024). Localizado na região do Médio Tocantins, o município é banhado pelo Rio Tocantins, que integra a Bacia Hidrográfica do Araguaia-Tocantins. Esse rio representa uma importante fonte de pescados para a população local e constitui uma opção de lazer, especialmente pelas praias fluviais que se formam em seu curso (Figura 1).

**Figura 1** - Mapa de localização da Sub-bacia Hidrográfica do Riacho Bacuri, em Imperatriz, Maranhão



Fonte: IBGE (2019); ANA (2013). Organizado pelas autoras (2025)

Esta pesquisa analisou o Riacho Bacuri que enfrenta intensa urbanização e recorrentes episódios de enchentes e inundações durante o período chuvoso, gerando impactos socioambientais e econômicos. O clima predominante em Imperatriz é tropical úmido e quente, com duas estações bem definidas: a chuvosa, que se estende de dezembro a abril, e a seca, de maio a novembro (SEMA, 2023).

Na sub-bacia, a recorrência de enchentes e inundações está relacionada à urbanização acelerada e à ausência de infraestrutura de saneamento ambiental, resultando em perdas materiais e dificuldades na mobilidade urbana. O Riacho Bacuri, cuja nascente localiza-se na divisa entre os municípios de João Lisboa e Imperatriz, atravessa diversos bairros – como Vila Redenção, Vila Lobão, Pedro Neiva, Bacuri e Caema – antes de desaguar no Rio Tocantins.

Sendo um dos principais riachos do município, o Riacho Bacuri tem cerca de 83,1% de sua extensão localizada dentro do perímetro urbano de Imperatriz. Como consequência, grande parte de sua mata ciliar foi degradada, dando lugar a construções civis (Silva et al., 2024).

### **Dados de enchentes e inundações na Sub-bacia do Riacho Bacuri**

A identificação dos pontos de enchentes e inundações na sub-bacia baseou-se em dados secundários divulgados pela Defesa Civil do município de Imperatriz, do período de 2013 a 2023. Em 2013, Imperatriz apresentou um regime de chuvas típico da região amazônica e do Cerrado, com precipitações elevadas nos primeiros quatro meses do ano, quando os índices ultrapassaram os 200 mm mensais, com variação na temperatura média anual (Maranhão, 2013). Em 2023, Imperatriz-MA enfrentou intensas precipitações nos primeiros meses do ano, com destaque para março, que registrou cerca de 219 mm de precipitação. Esse volume expressivo contribuiu para a ocorrência de inundações urbanas, agravando a vulnerabilidade hidroclimática na sub-bacia. O período amostral da pesquisa foi marcado pela atuação do fenômeno *El Niño*, que alterou os padrões atmosféricos e potencializou os extremos climáticos na região (Climatempo, 2023).

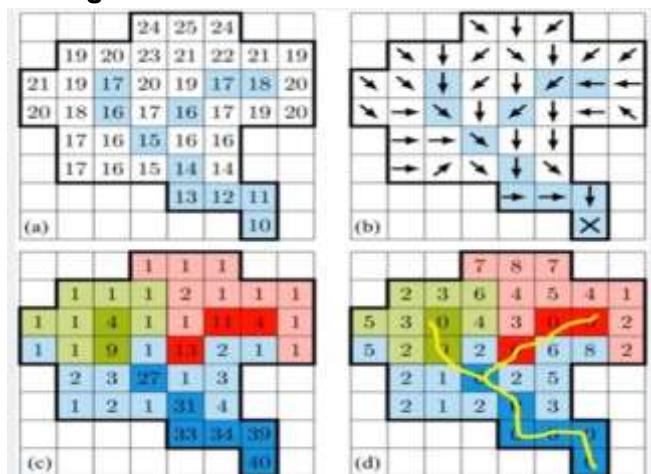
Nesta pesquisa, foram utilizados dados meteorológicos desse mesmo intervalo temporal, tais como precipitação e temperatura, extraídos da série histórica do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET), disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Conhecer as condições climáticas das bacias hidrográficas é fundamental para o melhor planejamento e a gestão eficiente do uso dos recursos naturais (Jovino et al., 2024).

A análise morfométrica da sub-bacia foi realizada utilizando o software livre QGIS, versão 3.22, com base nas metodologias propostas por Horton (1945), Villela e Mattos (1975) e Christoforetti (1980). Para o delineamento da bacia e a extração dos dados hidrológicos, foram utilizados dados do Modelo Digital de Elevação (MDE), provenientes da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 metros, disponibilizados no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), disponíveis em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na sub-bacia foi realizado com o auxílio do HAND model (Figura 2). O *HAND model* foi desenvolvido por Nobre et al. (2011) e tem como principal função o mapeamento preditivo do risco hidrológico, permitindo a identificação de zonas suscetíveis a inundações. Trata-se de uma ferramenta gratuita, disponível em: <http://handmodel.ccst.inpe.br/>. Por seu caráter preditivo, o *HAND model* integra sistemas de alerta e monitoramento, sendo utilizado como instrumento de prevenção (Pinheiro, 2024). Ao simular a propagação da água sobre a topografia, o modelo contribui para o planejamento e a criação de soluções de infraestrutura mais resilientes, capazes de mitigar os impactos de eventos hidrológicos extremos (França, 2024).

**Figura 2 - Funcionamento do Hand Model**



Fonte: França (2024)

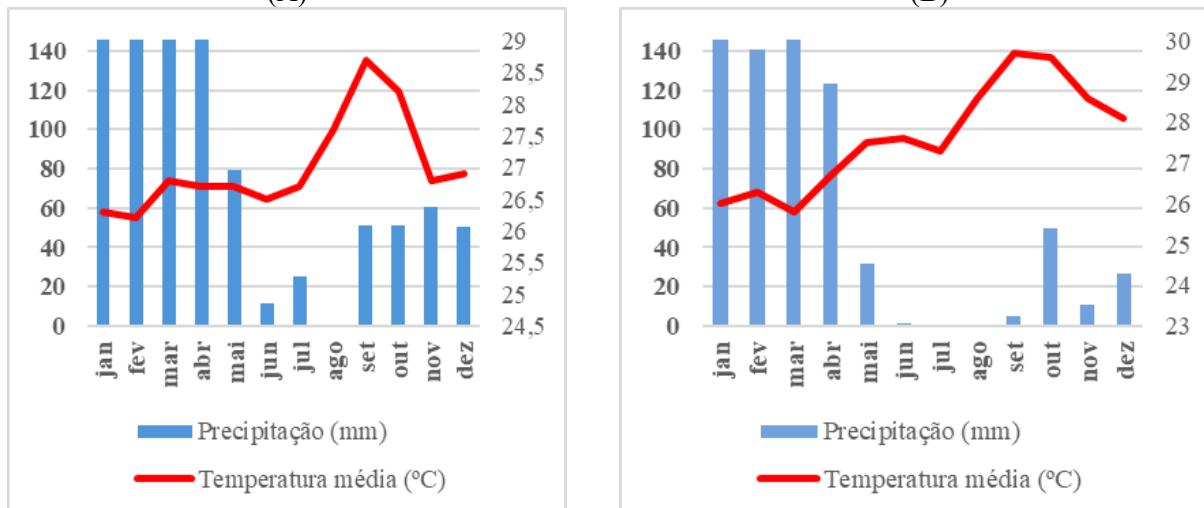
O HAND model nesta pesquisa foi utilizado seguindo as etapas:

- **Correção do Modelo Digital de Elevação (MDE):** Ajuste o MDE para remover erros e representar com mais precisão o relevo natural na sub-bacia hidrográfica.
- **Determinação da Direção de Fluxo:** Cálculo do escoamento da água a partir de cada célula do terreno, definindo a direção do fluxo superficial.
- **Cálculo do Fluxo de Acumulação:** Medição da quantidade de células que contribuem com o escoamento da água para cada ponto, ajudando a identificar os canais de drenagem.
- **Geração do Raster HAND model:** Para cada célula, calcula-se a diferença de elevação entre ela e o ponto mais próximo da rede de drenagem. O resultado é um mapa que mostra a altura relativa da célula em relação ao curso d'água mais próximo

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

No município de Imperatriz, a comparação dos índices pluviométricos entre 2013 e 2023 revelou uma redução significativa das chuvas em 2023. Essa diminuição é especialmente perceptível nos meses de julho, setembro e novembro – período característico de estiagem na região, sugerindo possíveis alterações no regime climático e seus efeitos sobre a dinâmica ambiental local (Figura 3).

**Figura 3 - Climograma da cidade de Imperatriz, Maranhão, nos anos de 2013 (A) e 2023 (B)**  
(A) (B)



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2024). Organizado pelos autores (2025).

O ano de 2023 foi marcado por estiagem prolongada e temperaturas elevadas em todo o estado, intensificadas pela atuação do fenômeno climático *El Niño* (SEMA, 2023). Nas cidades brasileiras, especialmente nas situadas na região amazônica, como Imperatriz – localizada no ecótono Amazônia-Cerrado –, observa-se um aumento no desconforto térmico e na formação de ilhas de calor, agravado pelas condições insalubres em que vive parte da população (Moreira et al., 2019).

A combinação de precipitações intensas e irregulares, associada às características climáticas locais e à ocupação desordenada do solo, intensifica a suscetibilidade de áreas urbanas e rurais a enchentes e inundações, provocando impactos socioeconômicos e ambientais (Gonçalves e Fernandes, 2022). É nesse contexto que se insere a Sub-bacia do Riacho Bacuri, região com mais de 80% de sua área urbanizada no município de Imperatriz (Silva et al., 2023).

Nas cidades brasileiras, sobretudo as amazônicas, observa-se diversos riscos, como o desconforto térmico e a criação de ilhas de calor, devido às condições insalubres em que as pessoas vivem (Moreira et al, 2019). Além disso, o processo de ocupação urbana desordenada e a ausência de planejamento urbano, provoca mudanças no balanço energético e nos níveis de conforto urbano. Dentre outros fatores, podemos destacar o desmatamento na região e a conexão estreita com as mudanças no ciclo hidrológico estão entre os vários fatores que podem ter contribuído para a redução das precipitações.

A região da Sub-bacia recebe atenção do poder público de forma sazonal, principalmente durante os episódios de inundações que ocorrem entre os meses de dezembro e abril. Segundo relatório da Defesa Civil (SUMPDEC, 2023), diversos bairros sofrem com alagamentos causados pela cheia do Riacho Bacuri e de seu afluente, o Riacho do Meio, sendo os mais afetados os bairros Bacuri, Vila Esperança e Morada do Sol (Quadro 1). A Defesa Civil estabeleceu três níveis para classificar os alagamentos, a saber: Nível 1: caracterizado pela presença predominante de entulhos ou vegetação; Nível 2: identificado por possuir grande quantidade de entulho e vegetação, além de moradias nas margens dos riachos; e Nível 3: caracterizado por requerer tratamentos mais urgentes, incluindo remoção de entulhos e medidas de contenção.

A preservação dos riachos que atravessam o município de Imperatriz e desaguam no Rio Tocantins enfrenta desafios significativos. Entre eles, destaca-se o Riacho Bacuri,

que, devido à falta de saneamento básico, recebe uma grande quantidade de lixo e esgoto *in natura*, fato que contribui para a degradação da qualidade da água do riacho (Nabhan et al, 2016). A ausência de infraestrutura adequada para o tratamento de resíduos resulta no despejo direto desses poluentes nos cursos d'água, agrava os impactos ambientais e compromete a saúde pública.

**Quadro 1** - Pontos de enchentes do Riacho Bacuri, na cidade de Imperatriz, Maranhão

RIACHO BACURI			
Bairro	Problemática	Possíveis soluções	Níveis de alagamento
Vila Esperança	Riacho com entulho e vegetação alta	Limpeza manual do Riacho Bacuri	Nível 2
Morada do Sol	Construções irregulares próximo ao Riacho Bacuri	Limpeza e aprofundamento de calhas do riacho	Nível 2
RIACHO DO MEIO (Afluente do Riacho Bacuri)			
Bairro	Problemática	Possíveis soluções	Níveis de alagamento
Bacuri	Construções irregulares próximo ao Riacho Bacuri e ao Riacho do Meio	Limpeza e aprofundamento de calhas do riacho	Nível 2

Fonte: Relatório da Defesa Civil (Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos, Superintendência Municipal de Proteção e Defesa Civil de Imperatriz, 2023). Organizado pelos autores (2025).

As cheias na Sub-bacia do Riacho Bacuri são frequentemente seguidas por inundações, intensificadas pelos eventos climáticos extremos (Figura 4). As atividades antrópicas na região – tais como a retirada da mata ciliar, o assoreamento do leito e a ocupação de áreas de risco – são alguns fatores que contribuem para a recorrência desses eventos no meio urbano.

No Riacho Bacuri é predominantemente urbana, apresenta solos pouco permeáveis (Neossolo Flúvico Ta Eutrófico e Luvissolo Háplico Órtico), o que dificulta a infiltração do volume de precipitação no solo (Melo Junior, 2023). O Neossolo Flúvico tende a ser mais permeável e menos restritivo à infiltração de água, enquanto o Luvissolo Háplico demanda maior atenção quanto ao manejo da água e à conservação do solo (Farias, 2019). Essa baixa permeabilidade intensifica o escoamento superficial, aumentando a vulnerabilidade da região aos alagamentos e à inundações.

**Figura 4** - Área alagada no entorno do Riacho Bacuri, município de Imperatriz, Maranhão em 2013 e 2023



Legenda: (A) Trecho de travessia da BR-010 sobre o Riacho Bacuri BR010, 2013 (Fonte: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2013/01/chuva-deixa-bairros-de-imperatriz-ma-alagados.html> ) e (B) Rua Coriolano Milhomem situa-se no bairro Bacuri, próxima à ponte homônima, 2023; Fonte: Os autores (2023).

Os problemas enfrentados nessa sub-bacia poderiam ser minimizados com a implantação de sistemas de drenagem superficial e subterrânea. A drenagem superficial envolve o uso de calhas, bocas de lobo e sarjetas para coletar e escoar a água das superfícies impermeáveis, como ruas e calçadas. Já a drenagem subterrânea refere-se às redes de tubulações e galerias pluviais responsáveis por conduzir essa água até sistemas de retenção e tratamento ou diretamente para rios, canais e outros corpos d'água (Tucci, 1999; Rodrigues et al., 2022).

### **Morfometria da Sub-bacia do Riacho Bacuri**

As características morfométricas das bacias hidrográficas influenciam diretamente o seu comportamento hidrológico, afetando a velocidade de escoamento das águas, a capacidade de infiltração e a suscetibilidade a inundações. A morfometria corresponde à análise quantitativa da forma, dimensão e relevo de uma bacia, sendo essencial para compreender seus aspectos hidrológicos e geomorfológicos (Estevan e Maia, 2022). A análise quantitativa de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros métodos utilizados para compreender a relação entre variáveis ambientais, permitindo explicar sua dinâmica e as transformações naturais ocorridas ao longo do tempo. Por meio de parâmetros morfométricos torna-se possível identificar características

essenciais, como a capacidade de armazenamento de água, a velocidade do escoamento superficial, a propensão a processos erosivos e a ocorrência de inundações, fornecendo subsídios fundamentais para o planejamento ambiental e a gestão sustentável dos recursos hídricos (Berolini et al. 2019).

A Sub-bacia possui uma área total de 17,2 km<sup>2</sup> e perímetro de 32,4 km. Seus canais principais somam cerca de 14,9 km de extensão, enquanto o total de cursos d'água presentes na sub-bacia chega a 64,2 km. Em relação à altimetria, a região apresenta altura média de 120,99 m, com variação entre 86 m (mínima) e 167 m (máxima), resultando em um intervalo altimétrico de 81 m (Quadro 2).

**Quadro 2 - Parâmetros morfométricos da Sub-bacia do Riacho Bacuri em Imperatriz, Maranhão**

**CARACTERÍSTICAS DA SUB-BACIA**

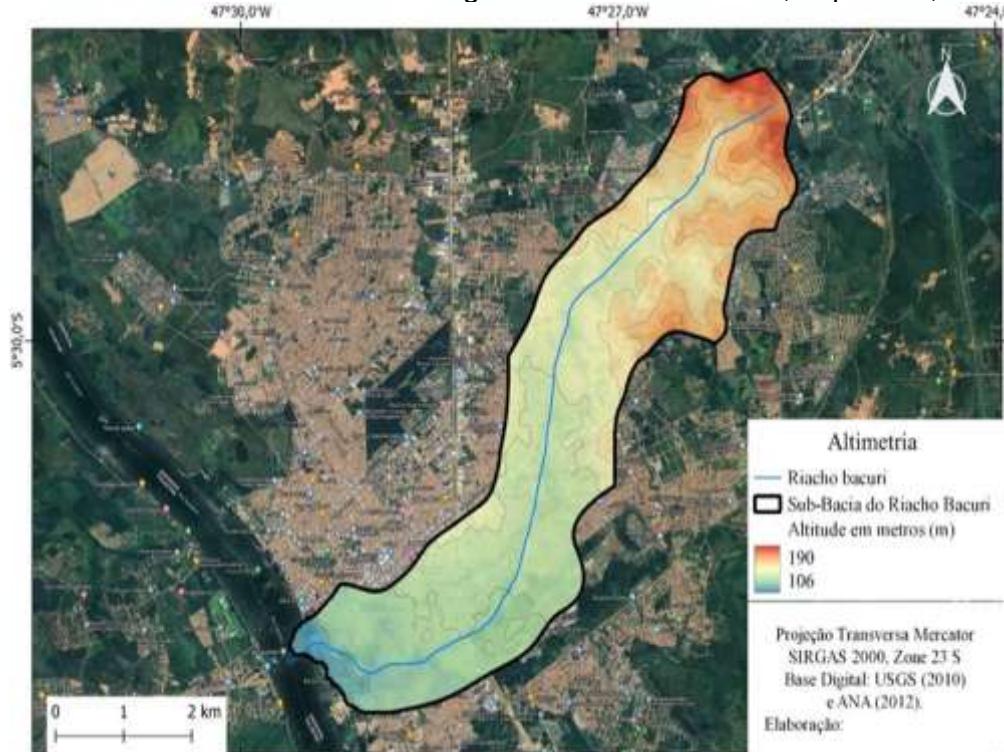
Canal principal (km)	14,9
Soma dos canais (km)	64,2
Área da sub-bacia (km <sup>2</sup> )	17,2
Perímetro da sub-bacia (km)	32,4
<b>CARACTERÍSTICAS DO RELEVO</b>	
Altura mínima (m)	86
Altura média (m)	120,9
Altura máxima (m)	167
Altura intervalo (m)	81
<b>MORFOMETRIA DA SUB-BACIA</b>	
Coeficiente de Compacidade (Kc)	2,184
Fator de Forma (Kf)	2,18
Índice de Circularidade	0,21
Densidade de Drenagem (Dd)	3,73
Índice de Rugosidade	0,31
Densidade Hidrográfica (Dh)	56,12
Extensão Média do Escoamento Superficial (Lm)	0,067
Índice de Sinuosidade (Is)	3,76

Fonte: Organizado pelos autores (2025).

A Sub-bacia do Riacho Bacuri possui dois eixos centrais, indicando a existência de dois cursos d'água principais. O primeiro corresponde ao principal, o Riacho Bacuri (9,5 km), enquanto o segundo representa seu afluente mais significativo, o Riacho do Meio (3,9 km). Essa configuração influencia diretamente o fluxo hídrico e a distribuição da água na região. A morfometria de bacias hidrográficas corresponde à análise quantitativa da forma, dimensão e relevo de uma bacia, permitindo entender seu comportamento hidrológico e geomorfológico (Christofolletti, 1980). A análise da

altimetria da Sub-bacia do Bacuri, variou entre 106 e 190 m, revelando uma diferença de 84 m (Figura 5). Embora a sub-bacia não seja totalmente plana, a baixa declividade contribui para a ocorrência de enchentes e inundações na região. E a população ribeirinha é a mais afetada por esses eventos hidroclimáticos, especialmente em áreas mais próximas à foz do riacho.

**Figura 5** - Altimetria da Sub-bacia Hidrográfica do Riacho Bacuri, Imperatriz, Maranhão



Fonte: Os autores (2025)

Nessa região da Sub-bacia, o coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) foi de 2,184, indicando que a sub-bacia do Bacuri possui uma forma alongada, o que geralmente favorece a concentração do escoamento em menor tempo, podendo resultar em picos de cheia mais elevados. Do mesmo modo, o fator de forma ( $K_f$ ), com valor de 2,18, também confirma essa tendência de resposta hidrológica alongada. Em contraste, a Sub-bacia do Riacho Cacau, no mesmo município, com forma mais arredondada e 0,51 km, apresenta maior tempo de concentração da água, o que tende a reduzir a vazão máxima das enchentes – desde que as demais características da bacia permaneçam constantes.

Os indicadores de morfometria da sub-bacia: coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), fator de forma ( $K_f$ ) e índice de circularidade indicam que a bacia é alongada (Quadro 2). Isso sugere que, em condições naturais, ela teria menor propensão a inundações rápidas, pois a água leva mais tempo para alcançar o ponto de saída. No entanto, esse comportamento pode ser alterado por fatores como urbanização, compactação do solo, desmatamento e impermeabilização, que reduzem a infiltração e aumentam o escoamento superficial (Tucci, 2002).

Para corroborar esses resultados, o Índice de Circularidade da Sub-bacia do Riacho Bacuri foi de 0,21, reforçando a ideia de uma forma bastante irregular e alongada. Nessa sub-bacia, o índice indica resposta mais lenta, mas ainda suscetível a picos de cheia, dependendo da intensidade das chuvas.

A Densidade Hidrográfica ( $D_h$ ) calculada para a sub-bacia foi de 56,12 km<sup>2</sup>/km, o que expressa a quantidade de canais fluviais por unidade de área. Esse valor sugere um forte desenvolvimento hidrográfico, o que facilita o escoamento das águas, mas também pode acentuar a vulnerabilidade a processos erosivos.

A Densidade de Drenagem ( $D_d$ ) da Sub-bacia do Bacuri foi de 3,73 km/km<sup>2</sup>, indicando uma rede de drenagem bastante densa. Isso significa que há muitos cursos d'água em relação à área da bacia, favorecendo um escoamento superficial mais rápido e, consequentemente, aumentando a erosividade da região. Segundo Melo et al. (2020), bacias com alta densidade de drenagem tendem a apresentar maior potencial erosivo, especialmente quando combinadas com declividades superiores a 3% e baixa infiltração do solo. Estudos como Rahmat et al. (2013) na bacia do Arroio do Butka (PR) mostram que áreas com  $D_d$  acima de 2,5 km/km<sup>2</sup>, associadas a vertentes íngremes e uso agrícola intensivo, apresentam maior risco de degradação ambiental e assoreamento dos canais, como no Riacho Bacuri.

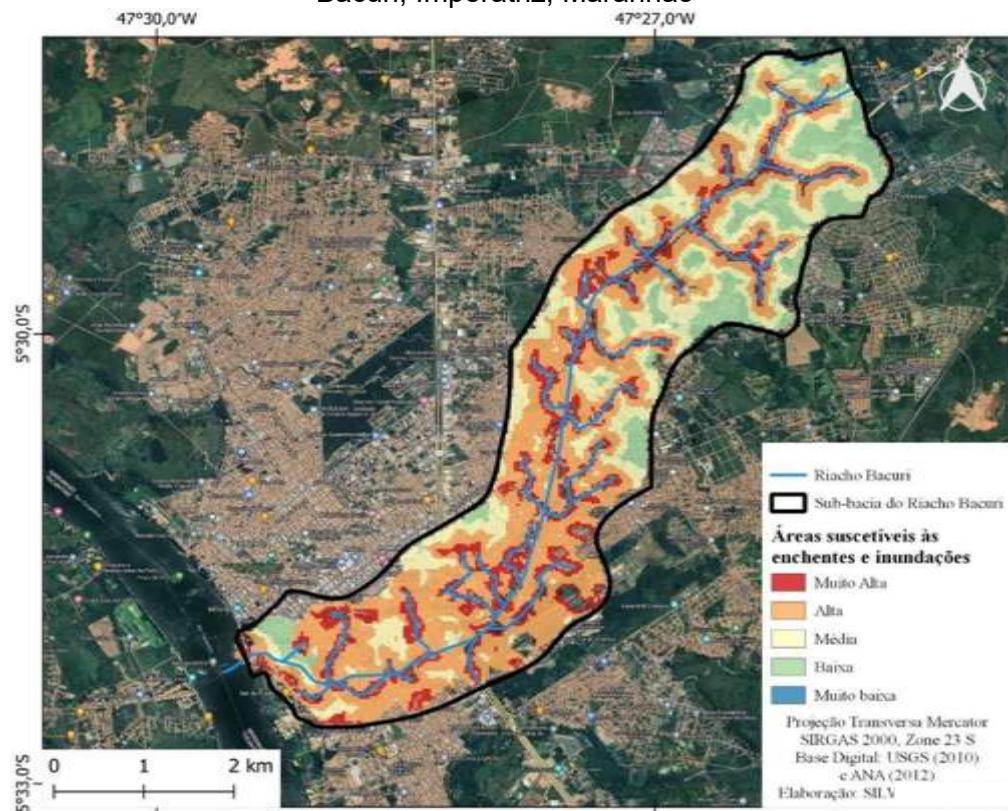
Essa relação destaca a importância da morfometria na dinâmica hidrológica e no comportamento dos eventos de inundaçāo (Silva et al., 2024). Dessa forma, a análise morfométrica se mostra fundamental para a gestão dos recursos hídricos, o planejamento ambiental e a avaliação de riscos naturais, incentivando a adoção de medidas preventivas e corretivas em bacias hidrográficas sujeitas a enchentes, inundações ou processos de degradação ambiental (Silva et al., 2018; Martins et al., 2020). Além disso, por meio de parâmetros morfométricos, é possível avaliar características como a capacidade de armazenamento de água, a velocidade de

escoamento superficial, a propensão aos processos erosivos e a ocorrência de inundações.

### Aplicação do HAND model na avaliação da suscetibilidade a eventos hidroclimáticos na sub-bacia do Riacho Bacuri

Nesta pesquisa, com a utilização do *HAND model*, foi possível constatar que, quanto mais próximo do curso d'água, mais suscetível está a população às enchentes e inundações. No mapa preditivo, observa-se que as áreas em vermelho – que representam suscetibilidade muito alta – estão localizadas nas proximidades do curso d'água, caracterizando zonas de maior risco (Figura 6).

**Figura 6** - Áreas suscetíveis a enchentes e inundações na Sub-bacia Hidrográfica do Riacho Bacuri, Imperatriz, Maranhão



Fonte: USGS (2010); ANA (2012). Elaborado pelos autores (2025).

Da mesma forma, as áreas em laranja, que indicam suscetibilidade alta, abrangem regiões com intensa ocupação antrópica, logo, mais vulneráveis aos fenômenos hidroclimáticos. O *HAND model* é aplicável em situações em que uma combinação de precisão e tempo de execução curto são necessários, por exemplo,

no mapeamento interativo de inundações e no suporte a decisões de mitigação (Hu e Demir, 2021).

Fatores como a baixa declividade e a ocupação das margens do Riacho Bacuri indicam uma relação direta entre a vulnerabilidade às inundações e a ocupação urbana em planícies de inundaçao. Na sub-bacia do Bacuri, observam-se diversas dificuldades associadas à urbanização e seus impactos, como inundações, desmatamento, ocupação irregular das margens do riacho e ausência de saneamento básico. Essa distribuição reflete a problemática da expansão urbana desordenada e da ocupação de áreas inadequadas (Queiroga et al., 2023).

Essa sub-bacia é particularmente suscetível a enchentes em razão do processo de assoreamento do canal fluvial, o que provoca o transbordamento das águas, sobretudo nos períodos de maior precipitação. Na pesquisa de Melo Júnior et al. (2023), verificou-se que, na Sub-bacia do Riacho Bacuri, considerando uma precipitação máxima com tempo de retorno de 100 anos e um coeficiente de escoamento superficial ( $C = 0,54$ ), em função do uso e da ocupação do solo, a vazão de entrada foi de  $77,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto a vazão de saída, ao atingir a Rodovia BR-010, foi de  $26,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Isso resultou em um volume de inundaçao de  $861.661,77 \text{ m}^3$ , ao atingir a cota de inundaçao de 104,5 m. Embora essa cota não ultrapasse a elevação máxima da BR-010, provoca inundações em áreas residenciais adjacentes.

A presença de moradias às margens dos afluentes potencializa esses desastres, resultando na perda da mata ciliar e na diminuição da estabilidade do solo, o que, com o tempo, pode comprometer a segurança das edificações e de seus moradores. Além disso, há um aumento da vulnerabilidade da população a doenças de veiculação hídrica, tanto no Riacho Bacuri quanto em seus afluentes (Pinheiro et al., 2021; Silva et al., 2024).

Para mitigar esses impactos, é essencial implementar medidas preventivas e estabelecer um sistema de monitoramento contínuo, que permita antecipar riscos e adotar estratégias que minimizem os danos antes da ocorrência de enchentes. A ausência de um planejamento preventivo eficaz e a demora na resposta não apenas causam perdas materiais, mas também colocam vidas em risco, sobrecarregam os serviços de emergência e dificultam uma recuperação ágil e eficiente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, a utilização do *HAND model* foi de grande importância para mapear as áreas com maior suscetibilidade aos fenômenos hidroclimáticos. Vale destacar a relevância do uso dessa ferramenta no contexto analisado, uma vez que ela permite a previsão de eventos de inundação com base no relevo e na elevação do terreno.

As enchentes e inundações na Sub-bacia do Riacho Bacuri são atribuídas, em grande parte, às ações antrópicas na área, tais como a impermeabilização do solo, a ocupação desordenada e irregular de residências e a retirada da vegetação ciliar. Neste sentido, o mapeamento das áreas vulneráveis à inundação é essencial para o planejamento territorial, especialmente no que diz respeito à prevenção de desastres.

Na sub-bacia do Bacuri, há vários problemas relacionados à urbanização e seus efeitos, como inundações, desmatamento, ocupação das margens do Riacho Bacuri e falta de saneamento básico. Além de ocupar o leito fluvial, essa sub-bacia é suscetível a enchentes devido ao processo de assoreamento do seu canal fluvial. Isso leva suas águas para além do limite do canal, especialmente durante os períodos de maior precipitação.

Nesse sentido, torna-se indispensável aprofundar o conhecimento sobre a dinâmica da sub-bacia, de modo a viabilizar a implementação de medidas mitigadoras eficazes frente aos impactos dos eventos climáticos e das intervenções humanas que afetam de forma significativa a população ribeirinha. Esse entendimento possibilita um planejamento mais preciso e a adoção de estratégias adaptativas voltadas à redução de riscos e à promoção da resiliência dessas comunidades. Ressalta-se, ainda, que essa discussão ultrapassa a esfera da gestão dos recursos hídricos, pois envolve também um dos maiores desafios da sociedade: a desigualdade social.

Recomenda-se para mitigar os impactos na Sub-bacia do Riacho Bacuri, o reflorestamento das margens e a recuperação da vegetação ciliar, com o objetivo de aumentar a infiltração da água e reduzir o assoreamento; a criação de Zonas de Proteção Permanente (ZPP), com delimitação adequada para impedir novas ocupações irregulares nas margens e promover a restauração das áreas já ocupadas; a implantação de Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS) nas regiões mais críticas, utilizando soluções como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e bacias de retenção; o planejamento urbano integrado, fundamentado no *HAND model* ou em

outras técnicas de geoprocessamento, para orientar o uso e ocupação do solo de forma preventiva e resiliente; e a promoção de programas de educação ambiental voltados à conscientização da população ribeirinha sobre os riscos hidroclimáticos e a importância da preservação dos recursos naturais.

## REFERÊNCIAS

BRÊDA, D.; SILVA, A. L. da; SILVA, M. A. da. Modeling flood susceptibility in hydrological data-scarce study areas. *Mercator*, Fortaleza, v. 23, e23007, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/GY5JWF4qP8pTPLndhvFbvXr/?format=html&lang=en>. Acesso em: 21 out. 2025.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 7. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CLAUDINO, C. M. A.; ABRANTES, S. L. M.; ALMEIDA, A. A. R. D.; SENA, T. S.; SILVA, C. S.; FILGUEIRA, H. J. A. Avaliação de diferentes modelos digitais de elevação na geração de mapas de suscetibilidade a inundações a partir do modelo Height Above The Nearest Drainage (HAND). *Revista Geociências*, v. 41, n. 1, p. 227-241, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i1.16313>.

CLIMATEMPO. *Climatologia de Imperatriz (MA)*. Disponível em: <https://www.climatetempo.com.br/climatologia/93/imperatriz-ma>. Acesso em: 21 out. 2025.

CUARTAS, L. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A. D.; NOBRE, C. A.; HODNETT, M. G.; WATERLOO, M. J.; OLIVEIRA, S. M.; VON RANDOW, R. C.; TRANCOSO, R.; FERREIRA, 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*, v. 462-463, p. 5-27, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.047>.

CUTTER, Susan L. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, v. 20, n. 4, p. 529–539, 1996. DOI: 10.1177/030913259602000407.

DRUMOND, R. A. S.; ALMEIDA, R. P.; NASCIMENTO, N. O. Mudanças climáticas e Plano Diretor: mitigação de inundações em Belo Horizonte. *Cadernos Metrópole*, v. 25, n. 58, p. 899-922, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2023-5806>.

ESTEVAN, A. L. D.; MAIA, D. C. Morfometria e enchentes urbanas na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, Salvador-BA. *Geopauta*, v. 6, p. 1-18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22481/rg.v6.e2022.e10755>.

FARIAS, A.; MENDONÇA, F. Riscos socioambientais de inundações urbanas sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. *Sociedade & Natureza*, v. 34, p. 1-18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63717>.

FARIAS, P. K. P. Caracterização e inter-relações entre atributos do solo em agroecossistemas. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/e088891e-670a-4590-a085-260adbda52df/download>. Acesso em: 21 out. 2025.

FERREIRA, H. S.; MORAES, B. C.; SILVA, C. N.; SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B.; PALÁCIOS, R. S. Aplicação do método HAND Model para identificação de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações na sede municipal de Paragominas-PA. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, v. 14, n. 2, p. 1-15, 2025. DOI: <https://doi.org/10.23900/2359-1552v14n2-2-2025>.

FRANÇA, L. HAND Model para mapear áreas suscetíveis a inundações. *GeoOne*, 15 maio 2024. Disponível em: <https://geoone.com.br/hand-model-inundacao/>.

GONÇALVES, P. A. S.; FERNANDES, R. O. Caracterização fisiográfica e do uso e ocupação de bacias urbanas em Juazeiro do Norte/CE. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, v. 15, n. 2, p. 632-648, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.2.79088>.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HU, A.; DEMIR, I. Real-time flood mapping on client-side web systems using HAND Model. *Hydrology*, v. 8, n. 65, p. 1-12, 2021. DOI: <https://www.mdpi.com/1067816>.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Imperatriz. In: IBGE Cidades, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/imperatriz/panorama>.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP. 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>.

JOVINO, E. S.; TAVARES, D. M. F.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, S. M.; OLIVEIRA, L. M. M. Dinâmica multitemporal das mudanças de uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 5, n. 1, p. 17-27, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11331417>.

MARTINS, A. P.; BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P. Análise fisiográfica da Bacia do Rio Monapo – Província de Nampula – Moçambique. *GEOgraphia*, v. 23, n. 50, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2021.v23i50.a40779>.

MELO JUNIOR, A. F.; TARGA, M. S.; CATELANI, C. S.; LABINAS, A. M. Análise do comportamento do riacho Bacuri por meio da curva cota-volume. *Novos Cadernos NAEA*, v. 26, n. 1, p. 331-352, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/ncn.v26i1.12728>.

MARANHÃO. Defesa Civil. Relatório de eventos climáticos e desastres naturais em Imperatriz – MA, 2013. São Luís: Governo do Estado do Maranhão, 2013. Disponível em: <https://www.defesacivil.ma.gov.br>. Acesso em: 21 out. 2025.

MELO, D. O. S. et al. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Real pelo uso de dados SRTM e tecnologias SIG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.

13, n. 7, p. 3553–3570, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/350358312>. Acesso em: 21 out. 2025.

MOREIRA, F. S. A.; DIAS, G. F. M.; VITORINO, M. I.; SILVA, J. C. C. Efeitos da precipitação e topografia para o risco de inundações na cidade de Belém-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 7, p. 2716-2728, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2716-2728>.

NABHAN, F. A. R. F.; OLIVEIRA, E. A. de A. Q.; GALVÃO JUNIOR, L. da C.; BRITO, L. A. P. F.; ESTEVES, J. S. Regulação e conservação ambiental: uma análise das margens do rio Tocantins no município de Imperatriz (MA). *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 12, n. 5, p. 373-402, 2016. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/2792/599>.

NOBRE, A. D.; SILVEIRA, A.; RODRIGUES, G.; VALLE, R. S. T.; OBREGÓN, G.; AUGUSTO, C.; CANAVESI, V.; CUARTAS, L. A. Aspectos físicos e geográficos das áreas ripárias no Brasil: análise preliminar da legislação. In: *CIÊNCIA PARA O CÓDIGO FLORESTAL* (Relatório Científico). CCST/INPE, 2011.

OLIVEIRA, É. D. de; FERNANDES, F.; BERTOTTI, L. G. Uso das terras e aspectos fisiográficos da bacia de drenagem do Arroio do Butka, Guarapuava/PR. *Ateliê Geográfico*, v. 7, n. 1, p. 215–236, abr. 2013. Disponível em: <https://www.academia.edu/144068828>. Acesso em: 21 out. 2025.

PINHEIRO, E. S.; TARGA, M. S.; BALDUÍNO, Â. R.; CATELANI, C. S. Impactos na saúde da população frente aos efeitos da poluição urbana nas margens do Riacho do Meio no município de Imperatriz/MA: uma revisão integrativa. *Revista Técnica de Ciências Ambientais*, v. 5, n. 2, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11330974>.

PINHEIRO, J. G. M. Aplicação do modelo HAND para modelagem de suscetibilidade à inundaçāo nos bairros de Ilhéus, sul da Bahia (Brasil). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 5, n. 1, p. 2-12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11330974>.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <https://revistas.usp.br/eav/article/view/10292>.

QUEIROGA, A. A.; OLIVEIRA, R. G. L.; FILGUEIRA, H. J. A.; CUNICO, C. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundaçāo aplicando diferentes modelos digitais de elevação no modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND). *Revista do Departamento de Geografia*, v. 43, p. 1-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.191008>.

RAHMATI, O.; KORNEJADY, A.; SAMADI, M.; NOBRE, A. D.; MELESSE, A. M. Development of an automated GIS tool for reproducing the HAND terrain model. *Environmental Modelling & Software*, v. 102, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.01.004>.

RODRIGUES, N. M.; RODRIGUES, C. E. F.; RODRIGUES, C. R. A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, p. 1-12, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29652>.

SANTOS, R. L.; NUNES, F. G. Mapeamento da expansão urbana e dos vetores de crescimento no município de Imperatriz – MA. *Espaço & Geografia*, v. 23, n. 1, p. 209-223, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26512/2236-56562020e40257>.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO MARANHÃO. Informe meteorológico nº 43/2023: 18/09/2023. 2023. Disponível em: [https://www.sema.ma.gov.br/uploads/sema/docs/INFORME\\_METEOROL%C3%93GICO\\_N%C2%BA43-2023\\_SDS.pdf](https://www.sema.ma.gov.br/uploads/sema/docs/INFORME_METEOROL%C3%93GICO_N%C2%BA43-2023_SDS.pdf).

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA E SERVIÇOS PÚBLICOS; SUPERINTENDÊNCIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DE IMPERATRIZ (SUMPDEC). Relatório de vistoria técnica nº 060/2023: plano de ação de limpeza e desobstrução dos riachos e córregos do município de Imperatriz – MA. Imperatriz, 2023.

SILVA, J. S. da; BESSA, N. G. F.; FAGUNDES, F.; SCHMITT, E.; COSTA, B. S. S. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio como instrumento de apoio à gestão de recursos hídricos em Tocantins. *Revista Cereus*, v. 10, n. 4, p. 284-297, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330030324>.

SILVA, A. R. Análise da paisagem em um afluente do Rio Tocantins no município de Imperatriz - MA. *Revista Contexto Geográfico*, v. 7, n. 15, p. 134-146, 2023. DOI: <https://doi.org/10.28998/contegeo.7i15.14441>.

SILVA, A. R.; SILVA, M. F.; MOURÃO, A. C. A.; ZANINI, A. F. Saúde e qualidade da água em uma sub-bacia hidrográfica do Rio Tocantins, em Imperatriz – MA. *Hygeia*, v. 20, p. 1-15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14393/Hygeia2071554>.

SILVA, E. R.; SOUZA, R. M. S.; MANIESI, V. A suscetibilidade para a ocorrência de enchentes e inundações a partir da análise morfométrica da bacia do Igarapé Grande, Porto Velho, Rondônia. *Geoambiente On-line*, n. 50, p. 1-24, 2024. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/76867>.

SILVA, Y. B.; SILVA, T. P. Avaliação de suscetibilidade a inundações e a movimentos de massa no baixo curso da bacia do rio Muriaé (RJ). *GeoPUC*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 21, p. 7-32, 2018. Disponível em: <https://geopuc.geo.puc-rio.br/media/v11n21a1.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

SOARES, E. A. G.; SIQUEIRA, G. W. Sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramenta de prevenção de risco: mapeamento de áreas suscetíveis à inundaçāo em Anajás-PA. *Revista Observatorio de La Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 8, p. 1-20, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv22n8-015>.

TUCCI, Carlos E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 475-508.

KOMOLAFE, A. A.; AWEB, B. S.; OLORUNFEMI, I. E.; OGUNTUNDE, P. G. Modelling flood-prone area and vulnerability using integration of multi-criteria analysis and HAND model in the Ogun River Basin, Nigeria. *Hydrological Sciences Journal*, v. 65, n. 10, p. 1766-1783, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1764960>.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WISNER, B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. 2. ed. London: Routledge, 2004.