1º HIDROGEOMINAS
SIMPÓSIO MINEIRO DE HIDROGEOMORFOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS
07 – 10 de setembro de 2026
Departamento de Geografia – UFMG
Belo Horizonte - MG

MÉTODOS DE MODELAGEM E MAPEAMENTO DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES: uma breve revisão

Ivo Nunes Luiz [1]
Luiz Fernando de Paula Barros [2]

RESUMO

As inundações configuram-se como potenciais causadoras de desastres naturais altamente recorrentes e severos em escala global, sendo frequentemente intensificadas por ações antrópicas. Diante da necessidade premente de estratégias eficazes de planejamento territorial e mitigação de danos, o mapeamento de áreas suscetíveis torna-se fundamental. Este trabalho objetiva apresentar uma revisão crítica sobre os principais conjuntos de métodos de modelagem e mapeamento de inundações disponíveis na literatura (modelos empíricos, hidrodinâmicos e conceituais simplificados), como uma primeira aproximação para os interessados no tema. A metodologia consistiu em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e exploratório de estudos nacionais e internacionais, analisando os fundamentos teóricos e estudos de caso de cada grupo para uma comparação sistemática de suas potencialidades e limitações. Os resultados indicam que os modelos empíricos, embora amplamente utilizados, possuem caráter puramente retroativo e possuem limitações em prever eventos extremos inéditos decorrentes da quebra da estacionariedade hidrológica provocada, especialmente, pelas mudanças nos usos e coberturas da terra. Em contrapartida, os modelos hidrodinâmicos oferecem elevada fidedignidade física ao simular as equações do movimento dos fluidos, consolidando-se como o "padrão-ouro" para o planejamento detalhado em microescala urbana, apesar de demandarem alto custo computacional e insumos de dados complexos. Por fim, os modelos conceituais simplificados apresentam extrema eficiência computacional para triagens exploratórias em macroescala. Conclui-se que não existe uma abordagem soberana isolada, mas sim uma tendência em direção ao desenvolvimento de modelos híbridos e rotinas de validação cruzada, permitindo integrar as virtudes específicas de cada modelo para gerar uma cartografia preditiva, robusta e eficiente.

Palavras-chave: Desastres naturais; Suscetibilidade à inundação; Geoprocessamento; Modelagem hidrodinâmica; Métodos empíricos; Modelos Conceituais Simplificados.

INTRODUÇÃO

As inundações se configuram como fenômenos causadores de desastres naturais recorrentes e devastadores em escala global, com impactos significativos sobre a vida humana, infraestrutura social e economia de diversos países (TENG *et al*., 2017; AZOUR *et al*., 2025). Definidas como o transbordamento das águas de um curso hídrico para além de suas margens ordinárias (leito menor),

[1] Mestrando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, ivonl@ufmg.br;
[2] Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, luizbarros@ufmg.br.

as inundações resultam de uma complexa interação entre variáveis fisiográficas (hidrogeomorfológicas, meteorológicas, pedológicas, etc.) e antrópicas (AMARAL; RIBEIRO, 2015).

A influência antrópica, especialmente nas últimas décadas, tem aumentado a magnitude e a frequência das inundações, em especial pela urbanização acelerada e outras mudanças de usos e coberturas da terra, afetando bilhões de pessoas e gerando prejuízos monetários significativos às entidades públicas e ao setor privado (ADNAN *et al*., 2019; AMARAL *et al*., 2024; LIN *et al*., 2025). Diante desse cenário, a identificação e a delimitação espacial das áreas suscetíveis à inundação é de grande importância para a implementação de estratégias eficazes voltadas à redução de desastres (CAMPOS *et al*., 2015). O mapeamento dessas áreas atua como uma medida não estrutural que auxilia o planejamento territorial e a gestão ambiental, subsidiando, por exemplo, o desenvolvimento de sistemas de alerta e também de ações estruturais (ex.: bacias de contenção, parques lineares, diques, etc.), permitindo que gestores públicos antecipem cenários e mitiguem potenciais danos (CAMPOS *et al*., 2015; SOUZA, 2021).

Nesse contexto, a literatura científica apresenta diversos métodos de modelagem de inundações, que variam em complexidade, exigência de dados e fundamentação teórica (CAMPOS *et al*., 2015; TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al*., 2021). Assim, antes de aplicar qualquer tipo de modelo, é necessário compreender como cada conjunto opera, incluindo suas características de funcionamento, potencialidades e limitações, visando sempre extrair o melhor de cada abordagem.

Conforme destacam Teng *et al*. (2017), a escolha do método deve se embasar em algumas noções prévias, como a escala da área em estudo (ex.: local, regional continental), os recursos disponíveis (ex.: computacional), disponibilidade e qualidade dos dados de entrada (*inputs*) e os resultados esperados (*outputs*). Visando contribuir para o embasamento dessas noções prévias, o presente artigo objetiva apresentar uma síntese da literatura sobre os principais conjuntos de métodos de modelagem e mapeamento de áreas suscetíveis à inundação (os modelos empíricos, hidrodinâmicos e conceituais simplificados), como uma primeira aproximação para os interessados no tema. Através dessa análise, busca-se discutir o funcionamento lógico de cada modelo, destacando suas características gerais, pontos fortes e limitações.

MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico deste trabalho foi pautado em revisão bibliográfica de caráter qualitativo e exploratório, fundamentado-se na análise da literatura técnico-científica nacional e internacional. Como critério de pesquisa foram selecionados artigos e dissertações publicados nos

últimos dez anos (2015 - 2025), estes identificados a partir das plataformas de pesquisas “Google Acadêmico” e “Portal de Periódicos CAPES”.

A pesquisa abrangeu desde revisões teóricas sobre os métodos de modelagem e mapeamento de inundações a estudos de casos que aplicaram tais técnicas em diferentes contextos geográficos e escalas. Para a estruturação da análise, os materiais selecionados foram categorizados de acordo com a lógica de funcionamento dos modelos (empíricos, hidrodinâmicos e conceituais simplificados), permitindo, assim, comparar sistematicamente as potencialidades e limitações de cada conjunto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a produção científica relativa à modelagem/mapeamento de áreas propensas a inundação, é comum observar a referência a três (3) grandes conjuntos (ou grupos) de métodos, sendo estes os empíricos, os hidrodinâmicos e os conceituais simplificados (CAMPOS *et al*., 2015; TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al*., 2021). Esta divisão reflete, principalmente, a lógica distinta de funcionamento intrínseca a cada método, que possui abordagens bastante próprias.

Frequentemente designados como abordagens *data-driven* (orientadas por dados) ou "caixa-preta", os métodos empíricos (*empirical methods*) podem ser entendidos como abordagens baseadas na relação direta entre dados observados, ou teóricos, e eventos reais de inundações. Sua lógica reside na utilização de registros de inundações pretéritas e/ou variáveis ambientais para "alimentar" algoritmos estatísticos ou matemáticos, visando delimitar áreas de influência das inundações, identificar fatores condicionantes ou mesmo caracterizar (de modo qualitativo) o grau de suscetibilidade de cada área a estes eventos (TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al*., 2021).

Este conjunto inclui os métodos mais plurais, abarcando as análises multicritério e suas variações, as abordagens estatísticas e de sensoriamento remoto (SR) e, mais recentemente, as abordagens baseadas em aprendizagem de máquina (*machine learning*) e inteligência artificial. A análise multicritério (AMC) permanece como uma das mais populares e difundidas, principalmente pela sua simplicidade de aplicação e adaptabilidade a vários ambientes (TENG *et al*., 2017). A AMC consiste, simplificadamente, na atribuição de pesos a diferentes fatores condicionantes (como declividade, altimetria, uso e cobertura da terra, entre outros) com base no julgamento de especialistas ou em contribuições teóricas fundamentadas, visando um produto final que sintetize (a partir das variáveis trabalhadas) o grau (baixo, moderado, alto, etc.) de suscetibilidade da área analisada (MUDASHIRU *et al*., 2021).

Exemplos de estudos de casos que utilizam a AMC podem ser observados no município mineiro de Nova Lima, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). As aplicações AHP e *fuzzy*, realizadas por Ramos *et al*. (2018), e da análise de componente principais e ponderada por especialistas, feitas por Avelino (2024), demonstram resultados interessantes (acurácia entre 86% e 94% nas melhores aplicações), evidenciando a capacidade destes métodos em mapeamentos exploratórios, ou seja, visando uma primeira aproximação do quadro de suscetibilidade a inundações.

Ainda no escopo dos métodos empíricos temos as aplicações de sensoriamento remoto (SR), que baseiam-se na extração de manchas de inundações reais por meio de índices espectrais, classificação de imagens orbitais, entre outros meios (TENG *et al*., 2017; MAIA *et al*., 2025). Contudo, os sensores passivos (ópticos) são severamente limitados pela cobertura de nuvens frequente nesses eventos, restrição que confere protagonismo aos sensores ativos (radar), dada a sua capacidade de imageamento sob nebulosidade (SCHUMANN; MOLLER, 2015).

Além disso, o SR esbarra na rigidez de sua resolução temporal frente à imprevisibilidade do fenômeno, o que frequentemente inviabiliza seu registro. Essa fragilidade metodológica acentua-se em inundações bruscas (*flash floods*) e em bacias de pequenas dimensões, cenários que demandam um alto detalhamento espacial e temporal, dificilmente atendido pelas plataformas convencionais (SCHUMANN; MOLLER, 2015; MAIA *et al*., 2025).

Apesar dos métodos empíricos figurarem atualmente como as abordagens mais utilizadas na literatura para o estudo de inundações (MUDASHIRU *et al*., 2021), sua aplicação universal para todo tipo de mapeamento carece de uma ponderação mais crítica. Por serem estruturados como modelos *data-driven*, sua lógica operacional reside estritamente na associação entre variáveis ambientais e registros de eventos pretéritos. Essa abordagem essencialmente retroativa e não preditiva (CAMPOS *et al*., 2015; TENG *et al*., 2017) significa que o modelo não simula a física do evento em si, limitando-se a replicar padrões passados. Consequentemente, essas técnicas têm a incapacidade de prever ou identificar cenários de inundação completamente inéditos e/ou de magnitude extrema nunca antes registrada (TENG *et al*., 2017).

Essa fragilidade tende a ser maior diante da urbanização acelerada e outras modificações nos usos e coberturas da terra (ADNAN *et al*., 2019). Ao alterarem drasticamente a impermeabilização do solo e a dinâmica hidrológica local, as ações humanas acabam por induzir condições/eventos inéditos que quebram a estacionariedade dos dados históricos. Portanto, adotar abordagens puramente empíricas para o planejamento territorial, especialmente de detalhe, em ambientes

urbanos dinâmicos é questionável, uma vez que o passado recente tende a deixar de ser um preditor confiável para os cenários catastróficos do futuro.

Outro grupo de destaque é o dos modelos hidrodinâmicos (*hydrodynamic models*), também conhecidos como *physically-based models*. Eles são fundamentados na replicação matemática do movimento de fluidos através da resolução computacional de equações físicas complexas (ex.: *Saint-Venant* e *Navier-Stokes*), como as de conservação de massa, energia e *momentum* (TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al.*, 2021). Diferente dos métodos empíricos, tratados anteriormente, esses modelos permitem simular a evolução temporal e a cinemática do evento de inundação, quantificando variáveis críticas como a profundidade da lâmina d'água e a velocidade do fluxo (CAMPOS *et al*., 2015; TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al.*, 2021; AZOUR *et al*., 2025).

A principal virtude dos modelos hidrodinâmicos reside na robustez da base física empregada para a realização das análises de cenários, permitindo que pesquisadores manipulem condições do entorno e entradas (*inputs*) para avaliar, de forma preditiva, o impacto de obras de engenharia, mudanças no uso e cobertura da terra e/ou eventos meteorológicos extremos hipotéticos (CAMPOS *et al*., 2015; TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al*., 2021). Assim, quando devidamente calibrados, esses modelos podem oferecer resultados de alta fidedignidade, sendo frequentemente referenciados como o "padrão-ouro" para o mapeamento e monitoramento de ambientes de alta complexidade, como em áreas urbanas (CAMPOS *et al*., 2015; TENG *et al*., 2017; AZOUR *et al*., 2025).

A representação espacial do escoamento permite categorizar esses modelos em unidimensionais (1D), bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D), cujas distinções residem na simplificação das equações empregadas (TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al*., 2021). Os modelos 1D tratam o fluxo como essencialmente unidirecional ao longo da linha central do canal (talvegue), sendo computacionalmente eficientes e adequados para redes de drenagem bem definidas, embora apresentem limitações ao ignorar a difusão lateral e variações de velocidade através da seção transversal. Em contrapartida, as versões 2D resolvem as equações de águas rasas (*shallow water*) em um plano horizontal, captando a dinâmica de espraiamento lateral e as interações complexas entre o canal e a planície de inundação. Isso torna as versões 2D propícias para o detalhamento de manchas de inundação em cenários complexos (ex.: cidades), apesar do acréscimo no processamento. Por fim, os modelos 3D incorporam detalhes à dimensão vertical e aos efeitos de turbulência, baseando-se na completude das equações de *Navier-Stokes* para representar fidedignamente fenômenos de alta complexidade vertical, como rompimentos de barragem, tsunamis e inundações bruscas (*flash floods*), embora sua aplicação em escalas regionais

seja restrita pela maior exigência de poder de processamento computacional e ajustes complementares (CAMPOS *et al*., 2015; TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al*., 2021).

Há vários exemplos de aplicações desses modelos ao redor do globo, nos quais *softwares* como o HEC-RAS (1D e 2D), TUFLOW (1D, 2D e 3D), IBER (2D), IS-IS (1D e 2D), entre outros, são utilizados para modelagem de inundações (ZAMBRANO *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al*., 2021; AZOUR *et al*., 2025). Apesar da maior acurácia, os modelos hidrodinâmicos carregam consigo os maiores custos operacionais, necessitando de um *input* de dados mais amplo e detalhado (ex.: modelos digitais de terreno de alta resolução espacial, dados hidrológicos, levantamento de seções transversais dos cursos d'água, rugosidade de *Manning*, etc.) e um alto custo computacional (tempo de processamento), além das limitações espaciais (até 1.000 km² para os modelos 2D e 3D), restringindo sua aplicação aos estudos de maior detalhe (TENG *et al*., 2017; MUDASHIRU *et al*., 2021).

Os modelos conceituais simplificados (*simplified conceptual models*) podem ser entendidos como um "meio termo" entre os métodos empíricos e hidrodinâmicos e representam uma alternativa a eles, sendo capazes de modelar (de modo simplificado) manchas de inundações futuras (limitação dos métodos empíricos) com um custo operacional menor que os hidrodinâmicos - reduzido tempo de processamento e *input* mais enxuto de dados (TENG *et al.*, 2017; SOUZA, 2021; HAMOUDA *et al*., 2024). O funcionamento dessas técnicas se baseia em abstrações simplificadas do comportamento das inundações, fundamentando-se, primordialmente, em descritores morfométricos/hidrogeomorfológicos extraídos a partir de Modelos Digitais de Elevação (TENG *et al*., 2017; SOUZA, 2021; LI *et al*., 2023).

Nesse sentido, ao invés de resolverem equações complexas do movimento de fluidos (ex.: *Saint-Venant*), esses modelos utilizam normalizações topográficas para estimar a extensão da lâmina d'água (TENG *et al*., 2017; HAMOUDA *et al*., 2024). Dentre seus principais pontos positivos, destaca-se a extrema eficiência computacional, com tempos de execução que chegam a ser 1.000 vezes menores do que os modelos hidrodinâmicos convencionais, o que os torna adequados para aplicações em larga escala (regional e continental) de caráter exploratório, tornado-os comuns em estudos recentes (MOMO *et al*., 2016; TENG *et al*., 2017; SAMELA *et al*., 2017; JOHNSON *et al*., 2019; JAFARZADEGAN; MERWADE, 2019; SOUZA, 2021; LI *et al*., 2023; RICHARDSON; BEIGHLEY, 2024; HAMOUDA *et al*., 2024; LIN *et al*., 2025).

Nesse panorama, o modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) e o GFI (*Geomorphic Flood Index*) são exemplos importantes. O HAND, desenvolvido por Rennó *et al*. (2008), opera através de uma normalização topográfica, na qual cada pixel representa a diferença de

altitude vertical em relação ao rio mais próximo. Já o GFI pode ser considerado uma evolução hidrológica dessa abordagem, pois tenta superar a rigidez de um limiar fixo ao integrar a área de contribuição acumulada na equação (SAMELA *et al.*, 2017; JAFARZADEGAN; MERWADE, 2019). Definido como o logaritmo da razão entre a profundidade potencial da água (estimada a partir do fluxo acumulado) e a altura em relação ao curso d'água mais próximo (HAND), o GFI tem demonstrado maior robustez e consistência em aplicações entre bacias com diferentes características morfológicas, superando outros descritores de terreno em termos de sensibilidade e especificidade (SAMELA *et al*., 2017; SOUZA, 2021).

Estudos de caso ao redor do mundo demonstram a eficácia dessas ferramentas na análise de inundações, como a implementação operacional do HAND, associado ao *National Water Model* (NWM), pelo *National Water Center* (NWC-NOAA), nos Estados Unidos, para previsões em tempo real em milhares de trechos de rios (JOHNSON *et al*., 2019; LI *et al*., 2023; RICHARDSON; BEIGHLEY, 2024). Contudo, os métodos conceituais simplificados possuem limitações importantes. Por utilizarem de simplificações teóricas/conceituais, sem modelar efetivamente o comportamento do fluido, estes modelos adquirem características "hidrostáticas", podendo limitar sua aplicação para os casos que a extensão total/final de uma inundação é o objetivo (CAMPOS *et al*., 2015; MOMO *et al*., 2016; TENG *et al.*, 2017).

Assim, ficam evidentes as distinções operacionais e conceituais de cada grupo e o contexto no qual cada modelo se mostra mais proveitoso. O Quadro 1 sintetiza a discussão realizada ao longo do presente excerto, destacando as contribuições positivas e as limitações a que cada classe de modelo está sujeita.

É válido salientar que, apesar da literatura técnico-científica tradicionalmente segregar os métodos de mapeamento em categorias estanques, observa-se uma tendência contemporânea crescente, e positiva, em direção às abordagens híbridas e validações cruzadas. Essa integração permite aglutinar as virtudes específicas de cada classe (como a robustez física dos modelos hidrodinâmicos, a agilidade dos métodos conceituais e a adaptabilidade dos empíricos) e mitigar de forma sinérgica suas limitações intrínsecas (TENG *et al*., 2017). Um exemplo é o CADIM (*Cloud-Aware DEM-based Inundation Mapping*), elaborado por Maia *et al*. (2025), que integra técnicas de aprendizado de máquina e sensoriamento remoto (empírico) ao HAND (conceitual simplificado), superando o obstáculo da cobertura de nuvens em imagens ópticas com acurácia de 94%. Destaca-se também a abordagem de Amaral *et al*. (2024), que alcançou resultados acima dos 97% de acuracidade se baseando na utilização do HAND como uma variável para alimentar algoritmos empíricos (*Random Forest* e SVM).

Quadro 1. Resumo dos principais conjuntos de métodos de modelagem de inundações

Grupo de Modelo	Exemplos	Pontos positivos	Limitações
Empíricos	Análise multicritério; Aplicações de SR; *Machine Learning* e IA (ex.: *Random Forest*; SVM, etc.), etc.	Aplicável em grandes áreas; abordagem simplificada; abordagem adaptável; etc.	Abordagem retroativa (não preditiva); necessidade de produtos de alta resolução espacial e temporal (SR); etc.
Hidrodinâmicos	HEC-RAS (1D e 2D); TUFLOW (1D, 2D e 3D); IBER (2D); etc.	Alta acurácia; modelagem precisa do comportamento hidrológico e evolutivo das inundações, etc.	Alto custo operacional; limitado a pequenas áreas; necessidade de produtos de alta resolução espacial; *inputs* e ajustes elevados; etc.
Conceituais Simplificados	HAND; GFI, etc.	Aplicável em grandes áreas; baixo custo operacional; etc.	Abordagem hidrostática simplificada

Fonte: Elaborado pelos autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como uma primeira aproximação para os interessados no tema, esta revisão buscou sintetizar as principais abordagens de modelagem e mapeamento de áreas sujeitas a inundações, evidenciando que suas qualidades e limitações são intrínsecas às suas características operacionais. Enquanto os modelos empíricos e conceituais simplificados podem ser destacados pelo baixo custo computacional e eficiência em macroescala, os modelos hidrodinâmicos tendem a oferecer maior fidedignidade física para avaliações em detalhe.

Contudo, reforça-se o problema crítico dos modelos empíricos: por operarem sob uma lógica puramente retroativa, sua aplicação tende a ser frágil em áreas com dados limitados e, sobretudo, diante de severas alterações antrópicas e eventos extremos e raros. As modificações nos usos e coberturas da terra, sobretudo em ambientes urbanos, tendem a romper a estacionariedade hidrológica, fomentando dinâmicas de inundação inéditas que os métodos empíricos são incapazes de antecipar, visto que não simulam, mesmo que simplificadamente, as leis físicas do escoamento do fluido.

Assim, destaca-se a aplicação de modelos conceituais e empíricos para o planejamento regional e os mapeamentos exploratórios de larga escala; em contrapartida, para o ordenamento territorial urbano de microescala, os modelos hidrodinâmicos são mais adequados para capturar as

complexidades do fluxo. Por fim, conclui-se que o avanço científico da área depende da superação de análises isoladas em prol da validação cruzada e do desenvolvimento de modelos híbridos. Essa hibridização virtuosa permite utilizar o potencial individual de cada modelo como ferramentas de calibração e validação, tendendo a uma cartografia (seja de risco, suscetibilidade, etc.) verdadeiramente preditiva, robusta e eficiente.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo auxílio financeiro no âmbito do Projeto APQ-00770-24; ao grupo de pesquisa RIVUS - Geomorfologia e Recursos Hídricos.

REFERÊNCIAS

ADNAN, M. S. G.; DEWAN, A.; ZANNAT, K. E.; ABDULLAH, A. Y. M. *The use of watershed geomorphic data in flash flood susceptibility zoning: a case study of the Karnaphuli and Sangu river basins of Bangladesh.* ***Natural Hazards***. [*S.I.*], v. 99, p. 425 – 448, 2019.

AMARAL, F. H. F.; PIROLI, E. L.; SANTOS, V. C. Mapeamento da suscetibilidade a inundação usando os modelos Floresta Aleatória e Máquina Vetor de Suporte com diferentes tipos de kernel. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 44, p. 1 – 16, 2024.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres Naturais, conhecer para prevenir**. 3ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, p. 39 - 53, 2015.

AVELINO, G. F. **Comparação de modelos de análise multicritério para determinação de vulnerabilidade futura à inundação em Nova Lima/MG**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

AZOUR, H.; MANSOUM, M.; SABAR, H.; YOUSFI, Y. E.; AMMAR, I.; GUEDDARI, H.; BENMAKHLOUF, M.; MABROUKI, J. *Flood Hazard Modeling Using Gis And Iber Tools: An Integrated Approach.* ***Water Conservation & Management***. v. 9, n. 2, p. 346 – 355, 2025.

CAMPOS, S. J. A. M.; STEFANI, F. L.; PAULON, N.; FACCINI, L. G.; BITAR, O. Y. Mapeamento de áreas sujeitas à inundação para planejamento e gestão territorial: cartas de suscetibilidade, perigo e risco. **Revista Brasileira de Geologia e Engenharia e Ambiental**. v. 5, n. 1, p. 67 - 81, 2015.

HAMOUDA, M. A.; AWADALLAH, A. G.; ABDEL-MAGUID, R. H. *Extension of the Geomorphic Flood Index classifier to predict flood inundation maps for uncalibrated rainfall depths in arid regions.* ***Natural Hazards***. v. 120, n. 5, p. 4633 - 4655, 2024.

JAFARZADEGAN, K.; MERWADE, V. *Probabilistic floodplain mapping using HAND-based statistical approach.* ***Geomorphology***. [*S.I.*], v. 324, p. 48 - 61, 2019.

JOHNSON, J. M.; MUNASINGHE, D.; EYELADE, D.; COHEN, S. *An integrated evaluation of the National Water Model (NWM) – Height Above the Nearest Drainage (HAND) flood mapping methodology.* ***Natural Hazards and Earth System Sciences***. v. 19, n. 11, p. 2405 - 2420, 2019.

LI, Z.; DUQUE, F. Q.; GROUT, T.; BATES, B.; DEMIR, I. *Comparative analysis of performance and mechanisms of flood inundation map generation using Height Above Nearest Drainage.* ***Environmental Modelling and Software***. [*S.I.*], v. 159, p. 1 – 18, 2023.

LIN, Y.; FAN, C.; LIU, K.; LIU, L.; DENG, X.; XU, P.; ZHAN, P.; FU, X.; SONG, C. *Characterizing the capability of public DEMs for mapping global floodplain bathymetry.* ***Journal of Hydrology***. [*S.I.*], v. 658, p. 1 - 13, 2025.

MAIA, A. B.; RENNÓ, C. D.; NOVO, E. M. L. M.; MIRA, I. R. C. *Flood Detection in Optical Systems: A Novel Approach to Overcome Cloud Cover with DEM Data.* ***Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing***. [*S.I.*], v. 10, p. 1 - 16, 2025.

MOMO, M. R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D. L.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 21, n. 1, p. 200 - 208, 2016.

MUDASHIRU, R. B.; SABTU, N.; ABUSTAN, I.; BALOGUN, W. *Flood hazard mapping methods: A review.* ***Journal of Hydrology***. [*S.I.*], v. 603, p. 1 – 30, 2021.

RAMOS, J. R. L.; ELMIRO, M. A. T.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C.; ROSA, G. Lógica *fuzzy* associada ao risco de inundação no município de Nova Lima/MG. **Revista Geografias**. v. 14, n. 2, p. 125 – 144, 2018.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. *HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia.* ***Remote Sensing of Environment.*** [*S.I.*], v. 112, p. 3469 - 3481, 2008.

RICHARDSON, C. A.; BEIGHLEY, R. E. *Optimizing Height Above Nearest Drainage parameters to enable rapid flood mapping in North Carolina.* ***Frontiers in Water***. [*S.I.*], v. 5, p. 1 - 19, 2024.

SAMELA, C.; TROY, T. J.; MANFREDA, S. *Geomorphic classifiers for flood-prone areas delineation for data-scarce environments.* ***Advances in Water Resources***. [*S.I.*], v. 102, p. 13 – 28, 2017.

SCHUMANN, G. J. P.; MOLLER, D. K. *Microwave remote sensing of flood inundation.* ***Physics and Chemistry of the Earth***. [*S.I.*], v. 83, p. 84 - 95, 2015.

SOUZA, J. V. B. **Uso de descritores de terreno para o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

TENG, J.; JAKEMAN, A. J.; VAZE, J.; CROKE, B. F. W.; DUTTA, D.; KIM, S. *Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis.* ***Environmental Modelling & Software***. [*S.I.*], v. 90, p. 201 – 2016, 2017.

ZAMBRANO, F. C. **Avaliação do perigo de inundações bruscas por meio de modelagem hidrogeomorfológica: estudo de caso, bacia do Arroio Forromeco – RS**. 144 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.