USO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO APLICANDO HAND-MODEL

Gabriel Adão Zechini da Silva 1 [1]; Murilo brazzali Rodrigues [2]; Diogo Costa Buarque [3]; Edilson Sarter Braum [4]

Palavras-Chave – Região hidrográfica; Enchentes; Áreas submersas.

INTRODUÇÃO

As inundações representam um dos desastres naturais mais frequentes e devastadores, afetando milhões de pessoas em todo o mundo. Esses eventos não apenas causam danos materiais significativos, mas também resultam em perdas humanas e impactos ambientais profundos. A crescente urbanização e as mudanças climáticas têm exacerbado a frequência e a intensidade das inundações, tornando essencial a implementação de estratégias eficazes de mitigação e planejamento urbano (Mcclean, Dawson, Kilsby, 2020).

O modelo HAND (Height Above Nearest Drainage) é uma metodologia amplamente utilizada para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações devido à sua simplicidade computacional e eficácia na identificação de regiões de risco. O modelo calcula a altura de cada célula de uma grade em relação ao ponto de drenagem mais próximo, possibilitando a identificação de áreas propensas a alagamentos, mesmo em terrenos complexos e com dados limitados (Goerl, Michel, Kobiyama, 2017).

Ademais, os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são representações tridimensionais da superfície terrestre, geradas a partir de dados de sensoriamento remoto, como imagens de satélite e levantamentos aéreos. Esses modelos fornecem informações detalhadas sobre a elevação do terreno, permitindo a análise de fluxos de água e a previsão de áreas propensas a inundações. A precisão e a resolução dos MDEs são fatores determinantes na acurácia das simulações de inundação (Al-areeq et al., 2023). Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar o uso de três tipos de MDEs aplicados ao modelo HAND para mapeamento de áreas suscetíveis a inundação.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI), localizada no estado do Espírito Santo, abrange uma área de aproximadamente 5.913,68 km², atravessando 17 municípios capixabas. A bacia é de fundamental importância para a região, não apenas no fornecimento de água potável para a população de cerca de 410 mil habitantes, mas também para a irrigação e o abastecimento agrícola e demais atividades industriais (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - AGERH, 2020).

O rio Itapemirim nasce na Serra do Caparaó, na divisa entre o Espírito Santo e Minas Gerais, e deságua no Oceano Atlântico, no município de Itapemirim, sendo responsável por diversas funções ecológicas e ambientais, incluindo a preservação de áreas de floresta nativa e unidades de conservação. A bacia apresenta uma precipitação anual média de 1.320 mm, com variações sazonais (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS - AGERH, 2020).

1) Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Ambiental, e-mail: gabrielzechini@hotmail.com; *murilobrazzali@gmail.com; diogo.buarque@ufes.br, edilsonsarter@gmail.com*

Base de dados

Para o mapeamento de áreas de inundação, foram utilizados três Modelos Digitais de Elevação (MDEs): Copernicus, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e AW3D (Advanced World 3D).

Os respectivos MDEs foram obtidos por meio do complemento "OpenTopography DEM Downloader" através do software QGIS, e foram baixados com as seguintes resoluções:

Copernicus: com resolução de 30 metros; SRTM: com resolução de 30 metros; AW3D: com resolução de 30 metros.

Além disso, o modelo HAND (Height Above Nearest Drainage) foi utilizado para identificar áreas propensas a inundações. Desenvolvido por Nobre et al., (2016), o modelo HAND calcula a altura acima da drenagem mais próxima, utilizando a diferença entre a altitude extraída do Modelo Digital de Elevação (MDE). A altura está correlacionada com a profundidade do lençol freático e com a topografia do terreno, de forma que áreas com menor diferença de altura apresentam maior susceptibilidade a inundações, o processo envolveu as seguintes etapas: Correção do MDE, geração das direções das drenagens, geração das áreas acumuladas e por fim geração das drenagens.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta o quantitativo das áreas suscetíveis à inundação, expressa em quilômetros quadrados (km²) para cada classe de risco.

Tabela 1. Áreas susceptiveis de inundação (km²).

Grau de susceptibilidade	COPERNICUS	MDE SRTM	MDE AW3D
Muito Alta	352,34	280,61	267,60
Alta	300,42	382,92	421,39
Média	312,18	341,62	321,48
Baixa	702,17	742,77	704,79
Muito Baixa	2.394,94	2.407,45	2.392,34

Os resultados têm implicações diretas na escolha dos modelos para avaliações de risco de inundação, uma vez que a precisão dos dados topográficos é importante para o entendimento da vulnerabilidade das áreas mapeadas. A Figura 1, apresenta o mapeamento obtido com os três MDEs utilizados, sendo que para o modelo copernicus, a maior área foi classificada como "Muito Baixa" (2.394,94 km²). Esse achado está alinhado com estudos que destacam a alta precisão vertical do Copernicus DEM, especialmente em áreas urbanas e de cobertura vegetal densa. Okolie et al., (2024) ressaltam que o Copernicus DEM oferece uma resolução muito adequada para modelos urbanos e florestais, sendo vantajoso na modelagem de inundações em regiões com uso do solo diversificado.

Em contrapartida, o MDE SRTM apresentou uma distribuição mais equilibrada entre as classes de risco. A classe "Muito Baixa" foi a mais representativa também, com 2.407,45 km², seguida de 742,77 km² classificados como "Baixa". Embora amplamente utilizado para mapeamentos globais, o SRTM, devido à sua resolução, pode apresentar limitações significativas em áreas de relevo complexo. Estudos como o de Uuemaa et al., (2020) indicam que o SRTM é eficaz para áreas planas, mas falha em áreas montanhosas ou com variações bruscas de elevação.

Por outro lado, o MDE AW3D, revelou um desempenho superior, especialmente em áreas montanhosas, como indicado pelos 421,39 km² classificados como "Alta". Estudos, como o de Courty et al., (2019), mostram que o AW3D30 tem um desempenho comparável aos modelos derivados de LiDAR, sendo mais adequado para áreas de relevo acentuado.

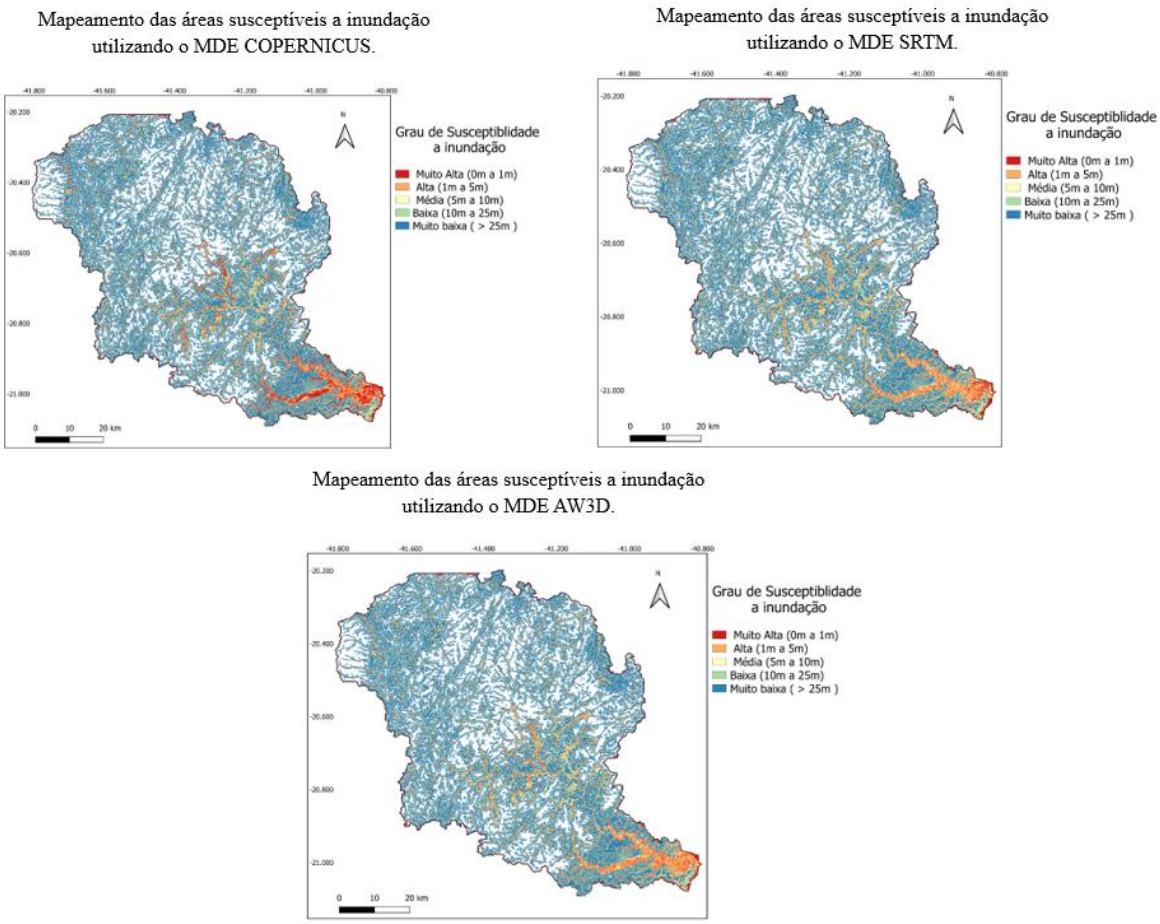


Figura 1. Bacia hidrográfica rio Itapemirim – Áreas susceptíveis de inundação. Fonte: autoria própria.

Essas variações têm implicações para a avaliação de risco de inundação, uma vez que uma diferença de poucos metros na elevação pode resultar em áreas que são ou subestimadas ou superestimadas, afetando a precisão do mapeamento e a confiabilidade das estratégias de mitigação de risco. Magnini et al., (2022) observam que a precisão na definição das zonas de risco é importante para a elaboração de políticas públicas eficazes no combate às inundações. Ademais, pesquisas futuras podem se beneficiar de uma integração mais robusta de dados provenientes de diferentes fontes, como o LiDAR e sensores remotos, para validar os resultados obtidos com os MDEs. A aplicação de modelos preditivos baseados em aprendizado de máquina podem melhorar ainda mais a acuracidade das previsões de inundações, como sugerido por (SCHEIBER et al., 2023), que indicam o uso de dados abertos de alta resolução para modelos preditivos de inundações urbanas.

CONCLUSÕES

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações com o Hand-Model tem se mostrado uma ferramenta eficaz para a análise preliminar da vulnerabilidade de regiões específicas, especialmente nas Bacias Hidrográficas. O uso combinado do Hand-Model com diferentes MDEs, como Copernicus, SRTM e AW3D, é uma abordagem que visa aprimorar a precisão dos modelos de inundação, ao integrar dados geomorfológicos e hidrológicos com um maior nível de detalhamento. A resolução espacial dos MDEs, por exemplo, pode afetar a precisão nas áreas de relevo complexo. Além disso, a falta de dados atualizados sobre eventos climáticos e o uso do solo pode ter influenciado as estimativas de risco. Para futuras pesquisas, é recomendada a integração de dados adicionais, como

informações de sensores remotos, bem como o uso de modelos hidrológicos avançados, que considerem mudanças climáticas e uso do solo dinâmico.

REFERÊNCIAS

AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos. Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim. Disponível em: https://agerh.es.gov.br/cbh-itapemirim. Acesso em: 05 maio. 2026.

AL-AREEQ, Ahmed M. et al. Digital elevation model for flood hazards analysis in complex terrain: Case study from Jeddah, Saudi Arabia. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 119, p. 103330, 1 maio 2023. https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103330

COURTY, Laurent Guillaume et al. Evaluation of open-access global digital elevation models (AW3D30, SRTM, and ASTER) for flood modelling purposes. **Journal of Flood Risk Management**, v. 12, n. S1, 1 out. 2019. https://doi.org/10.1111/jfr3.12550.

GOERL, Roberto Fabris; MICHEL, Gean Paulo; KOBIYAMA, Masato. mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo hand e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 1, 2017. https://doi.org/10.14393/rbcv69n1-44032

MAGNINI, Andrea et al. Machine-learning blends of geomorphic descriptors: value and limitations for flood hazard assessment across large floodplains. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 22, n. 4, p. 1469–1486, 26 abr. 2022. https://doi.org/10.5194/nhess-22-1469-2022

MCCLEAN, Fergus; DAWSON, Richard; KILSBY, Chris. Implications of Using Global Digital Elevation Models for Flood Risk Analysis in Cities. **Water Resources Research**, v. 56, n. 10, p. e2020WR028241, 1 out. 2020. https://doi.org/10.1029/2020WR028241

NOBRE, Antonio Donato et al. HAND contour: A new proxy predictor of inundation extent. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 2, p. 320–333, 15 jan. 2016. https://doi.org/10.1002/hyp.10581

OKOLIE, Chukwuma J. et al. Assessment of the global Copernicus, NASADEM, ASTER and AW3D digital elevation models in Central and Southern Africa. **Geo-Spatial Information Science**, v. 27, n. 4, p. 1362–1390, 2024. https://doi.org/10.1080/10095020.2023.2296010.

QGIS Development Team**.** QGIS Geographic Information System. Versão 3.28.9, 2022. Disponível em: https://qgis.org. Acesso em: 5 de maio de 2025.

SCHEIBER, Leon et al. The potential of open-access data for flood estimations: uncovering inundation hotspots in Ho Chi Minh City, Vietnam, through a normalized flood severity index. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 23, n. 6, p. 2313–2332, 26 jun. 2023. https://doi.org/10.5194/nhess-23-2313-2023.

UUEMAA, Evelyn et al. Vertical Accuracy of Freely Available Global Digital Elevation Models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM). **Remote Sensing,** 2020, Vol. 12, Page 3482, v. 12, n. 21, p. 3482, 23 out. 2020. https://doi.org/10.3390/rs12213482.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo) pelo apoio financeiro e institucional, que foram fundamentais para a realização deste estudo.