

ANÁLISE DE ÁREAS PROPENSAS A DESASTRES POR INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE, PARAÍBA, BRASIL

Sara Ribeiro Gomes¹
Alyne Siqueira Bento²
Hamilcar José Almeida Filgueira³

INTRODUÇÃO

Desastres, segundo o Centro de Pesquisa em Epidemiologia dos Desastres (CRED, 2023), são eventos que superam a capacidade de recuperação local, exigindo ajuda externa e causando danos elevados. No Brasil, desastres relacionados com fenômenos naturais, como secas e inundações são comuns, agravados por fatores humanos (Maffra; Mazzola, 2007). O país está entre os 15 com maior população exposta a inundações, com 9,2 milhões de afetados entre 2000 e 2022 (UNDRR, 2023).

Certos grupos estão mais suscetíveis a desastres por inundações devido a condições socioeconômicas desfavoráveis, que os concentram em áreas propensas ao risco, como margens de rios (Freitas *et al.*, 2014). Em Campina Grande, Paraíba, essa problemática é particularmente evidente, pois segundo Silva *et al.* (2020), setores com alta vulnerabilidade abrigam parte da população em áreas expostas a ameaças ambientais, econômicas, sociais, de saúde e infraestrutura. Portanto, entender essas ameaças é essencial para implementar medidas que reduzam o risco de desastres.

A coleta de dados precisos sobre fenômenos naturais é complexa, demandando métodos empíricos, como a modelagem para melhor compreensão desses eventos (Kobiyama; Manfroi, 2010). Modelos hidrológicos necessitam de amplos conjuntos de dados, como séries históricas de chuva-vazão e informações topográficas, que muitas vezes são escassos ou inexistentes em várias regiões (Goerl *et al.*, 2017). Para superar essa limitação, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu o modelo *Height Above The Nearest Drainage* (HAND), criado por Rennó *et al.* (2008), um descritor de terreno que facilita a criação de mapas de inundação utilizando apenas o Modelo Digital de Elevação (MDE) como dado de entrada.

¹sararibeirogsxc@gmail.com, estudante de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba.

²alyne.siqueira@academico.ufpb.br, estudante de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba.

³hfilgueira@gmail.com, professor titular no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECA), Universidade Federal da Paraíba.

Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi utilizar o modelo HAND para mapear áreas suscetíveis a inundações em Campina Grande, avaliando diferentes MDEs e identificando pontos de potencial risco na cidade.

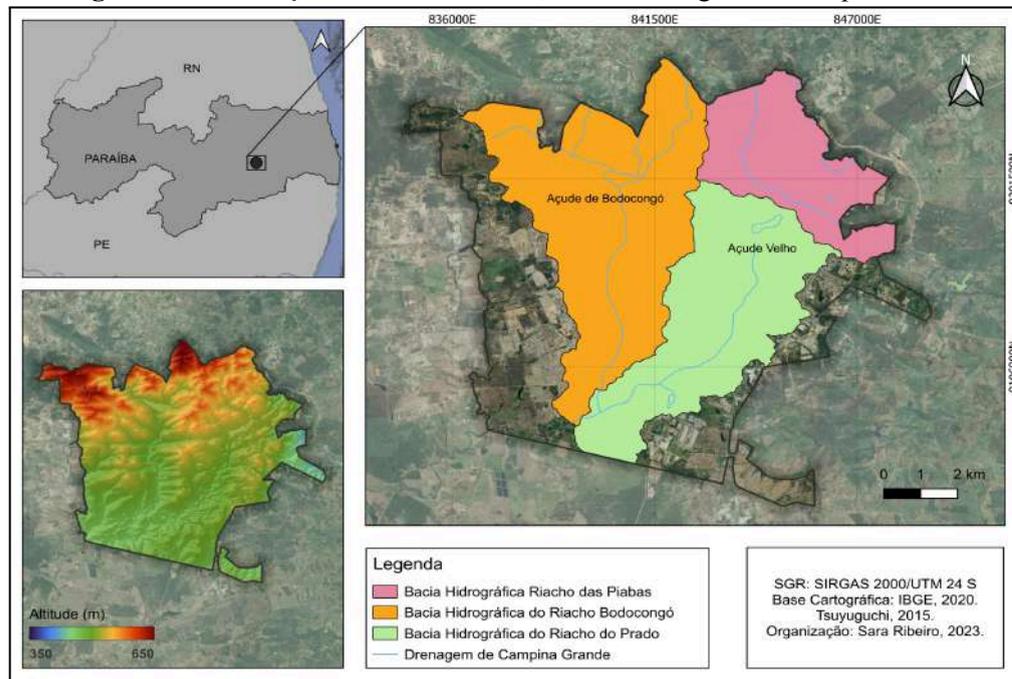
MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O município de Campina Grande, com uma população de 419.379 habitantes em 2022 (IBGE, 2023), é o segundo maior centro populacional do estado da Paraíba e enfrenta elevados desafios socioambientais.

Aproximadamente 8% da população vive em favelas e comunidades urbanas (IBGE, 2019), situadas em áreas suscetíveis ao risco, como margens de rios e encostas, vulneráveis a alagamentos e inundações. Essas comunidades estão principalmente nas sub-bacias hidrográficas dos Riachos Bodocongó, Piabas e Prado, parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (Figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo, bacias hidrográficas e hipsometria.



Modelo HAND

Três MDEs de diferentes resoluções espaciais foram empregados para uma análise comparativa: o interpolado de 10 m x 10 m (Tsuyuguchi, 2015), de melhor resolução até então encontrado para o município, corrigido e georreferenciado; o *Forest And Buildings removed*

Copernicus DEM (FABDEM), de 30 m x 30 m, do programa *Copernicus*, o modelo digital de elevação global mais atualizado (Hawker *et al.*, 2022); e o de 90 m x 90 m da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que ainda é a matriz de dados mais utilizada nos dias atuais (Sampson *et al.*, 2016). A utilização desses modelos foi fundamentada na necessidade de avaliar a precisão entre as escalas, permitindo a comparação das variações topográficas em diferentes níveis de detalhe, sem a complexidade adicional de cenários com resoluções menos comuns.

O modelo HAND utiliza os MDEs para extrair informações hidrológicas, normalizando a altitude em relação à rede de drenagem mais próxima (Nobre *et al.*, 2011), recalculando a variação altimétrica para identificar áreas suscetíveis a inundações. O limiar de drenagem é o único parâmetro ajustável do modelo.

Para ajustar os limiares de drenagem, foi utilizado um metadado hidrográfico do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) como base comparativa. As sub-bacias mostraram variações, influenciadas pela declividade e resolução dos dados (Tabela 1), com a bacia do Riacho Bodocongó dividida em duas partes devido às diferenças de altitude.

Tabela 1. Limiares de drenagem escolhidos para cada bacia e resolução.

Bacias	Resolução Espacial do MDE	Limiar de drenagem (<i>pixel</i>)
BHR Prado	10 m x 10 m	30.000
	30 m x 30 m	3.000
	90 m x 90 m	300
BHR Piabas	10 m x 10 m	40.000
	30 m x 30 m	4.000
	90 m x 90 m	200
BHR Bodocongó I	10 m x 10 m	10.000
	30 m x 30 m	1.000
	90 m x 90 m	200
BHR Bodocongó II	10 m x 10 m	40.000
	30 m x 30 m	5.000
	90 m x 90 m	400

Os MDEs produzidos pelo HAND foram reclassificados no software QGIS para identificar áreas suscetíveis a inundações. Foram definidas cinco categorias de risco: muito baixo (5m de altura do HAND), baixo (4m), médio (3m), alto (2m) e muito alto (1m). Esses níveis foram agrupados em Classes de 1 a 5, onde a Classe 1 indica o menor risco e a Classe 5 o maior risco. Esse método comparativo foi também utilizado por Queiroga *et al.* (2024).

A validação dos mapas gerados pelo modelo foi realizada com base em pontos de inundação fornecidos pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Campina Grande (COMPDEC-CG).

Para a análise geoespacial e também para a validação do MDE gerado pelo modelo HAND, foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo, utilizando os dados do MapBiomias (2022), e traçados perfis transversais no QGIS. Os perfis transversais foram feitos a partir do MDE disponibilizado por Tsuyuguchi (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A reclassificação no QGIS permitiu extrair dados das áreas inundadas (Tabela 2), necessários para mensurar as inundações em Campina Grande. Este método favoreceu uma análise das zonas propensas a inundações, possibilitando a comparação entre os resultados das distintas resoluções de MDEs.

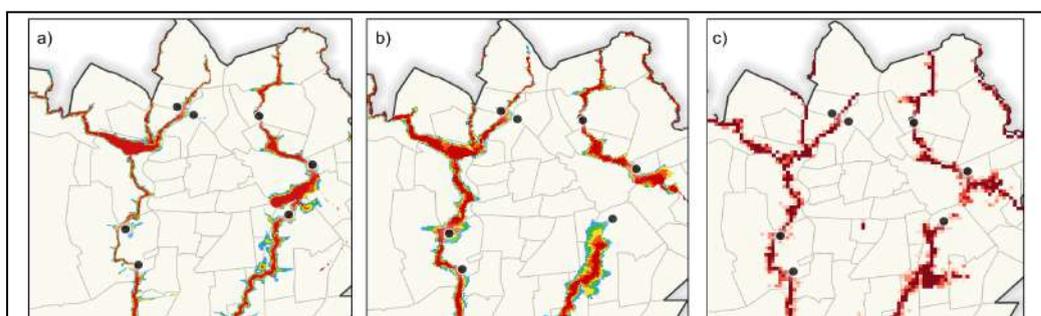
Tabela 2. Porcentagem HAND em função da área metropolitana de Campina Grande

Área de estudo	MDE (m x m)	Área classificada (%)	Classe 5 (%)	Classe 4 (%)	Classe 3 (%)	Classe 2 (%)	Classe 1 (%)
99,76 km ²	10 x 10	7,22	2,56	1,20	1,13	1,12	1,19
	30 x 30	9,18	3,68	1,51	1,32	1,28	1,37
	90 x 90	9,1	4,62	0,96	1,02	1,22	1,32

O MDE de 30 m x 30 m cobriu a maior área (9,2%), seguido pelo MDE de 90 m x 90 m (9,1%) e pelo MDE de 10 m x 10 m (7,22%). A Classe 5, que indica alto risco de inundação, teve sua proporção reduzida com o aumento da resolução espacial. O MDE de 90 m x 90 m registrou a maior área de alto risco (4,62%), enquanto o MDE de 10 m x 10 m teve a menor (2,56%). Claudino *et al.* (2022) identificou superestimação da mancha com o MDE de 90 m x 90 m.

Na validação, o MDE de 10 m x 10 m englobou todos os oito pontos (100%), o MDE de 30 m x 30 m compreendeu sete pontos (87,5%), enquanto o MDE de 90 m x 90 m apenas seis pontos (75%), como observado na Figura 4. A diferença de acurácia ressalta como a eficácia do modelo está diretamente relacionada à qualidade da resolução espacial (Queiroga *et al.*, 2023; Alves *et al.*, 2024).

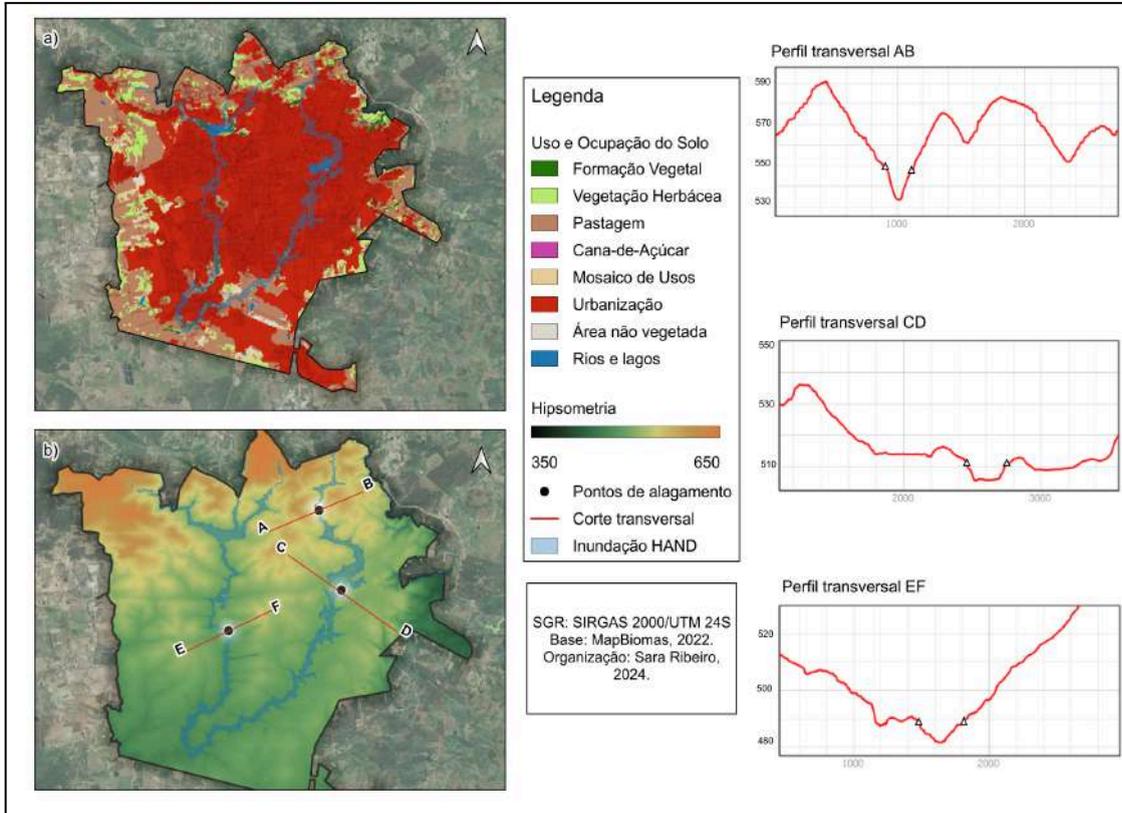
Figura 2. Cartograma de resultado e validação do modelo HAND



Os bairros Palmeira, Alto Branco e Conceição destacam-se como áreas suscetíveis ao risco para inundações em Campina Grande, conforme informações da COMPDEC-CG. O modelo HAND superestimou a elevação em locais como a Faculdade Integrada de Patos/Campina Grande (FIP) e o bairro Universitário, devido à influência da altitude local no escoamento. Em alguns desses locais, ocorreram inundações, que foram confirmadas pela COMPDEC-CG e resolvidas com a instalação de um sistema de drenagem.

Ademais, durante a análise, foi observada uma correspondência entre as áreas inundáveis modeladas pelo HAND e as planícies de inundação mostradas nos perfis transversais (Figura 3).

Figura 3. a) Mapa de uso e ocupação do solo; **b)** Cortes transversais nos pontos de inundação



É alarmante que essas regiões, identificadas como áreas suscetíveis a risco, estejam ocupadas por moradias em locais inadequados. Além disso, a presença de superfícies impermeabilizadas, como áreas urbanizadas e pavimentadas, intensificam o escoamento superficial, aumentando ainda mais o risco de desastre por inundação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto HAND gerado com o MDE de 10 m x 10 m de Tsuyuguchi (2015) apresentou a maior acurácia, cobrindo todos os pontos relevantes, inclusive aqueles

verificados em campo. Em contraste, o MDE SRTM de 90 m x 90 m identificou as áreas suscetíveis a inundações, mas limitou-se a duas classes HAND. O MDE FABDEM de 30 m x 30 m superestimou a Classe 5, resultando em uma área maior do que a mapeada pelo MDE SRTM. Esses resultados ressaltam a importância de usar dados precisos e bem tratados para mapear áreas vulneráveis a desastres por inundações.

Para o planejamento urbano, esses mapas não têm apenas um valor educativo, mas são, na verdade, essenciais na elaboração de um Plano de Gerenciamento de Riscos, considerando os impactos das inundações na estrutura das comunidades, na saúde e na segurança da população.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. L. P. R.; OLIVEIRA, R. G. L.; ROCHA, C. A. A.; FILGUEIRA, H. J. A.; SILVA, R. M. da; SANTOS, C. A. G. Assessing flood susceptibility with ALOS PALSAR and LiDAR digital terrain models using the height above nearest drainage (HAND) model. **Environment, Development and Sustainability**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04785-1>

ARAÚJO, A. O. B. **Análise e prognóstico de risco a desastres na comunidade do mutirão**. Campina Grande. 2006. 73 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2006.

SILVA, J. N. Rejane; ARAÚJO, S. M. S. Sérgio. Riscos e vulnerabilidades socioambientais decorrentes de eventos climáticos e geomorfológicos na cidade de Campina Grande –Paraíba. **Revista Geosertões**, v. 5, n. 10, p. 257-276, 2020.

UNRRD – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. 2023. Overview of Disasters in Latin America and the Caribbean 2000 - 2022. Disponível em, <<https://www.undrr.org/media/89900>>. Acessado em, 29 Jul. 2024.

CLAUDINO, C. M. de A.; ABRANTES, S. L. M.; ALMEIDA, A. A. R. D.; SENA, T. de S.; SILVA, C. S. da; 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). **Geociências**, v. 41, n. 1, p. 227-241, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i1.16313>

CRED – CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. 2023. Disasters Year in Review – 2022. Disponível em, <<https://www.cred.be/publications>>. Acessado em, 06 Jul. 2023.

FREITAS, C. M. D.; SILVA, D. R. X.; SENA, A. R. M. D.; SILVA, E. L.; SALES, L. B. F.; CARVALHO, M. L. D.; CORVALÁN, C. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação

do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.00732014>

HAWKER, Laurence et al. Perspectives on digital elevation model (DEM) simulation for flood modeling in the absence of a high-accuracy open access global DEM. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 233, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00233>

SAMPSON, Christopher C. et al. Perspectives on open access high resolution digital elevation models to produce global flood hazard layers. **Frontiers in Earth Science**, v. 3, p. 85, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00085>

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M. 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, p. 61-69, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n1-44032>

KOBİYAMA, M.; MANFROI, O. J. **Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas**. Curso de Extensão: Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal. Curitiba: Curso de Eng. Florestal–UFPR, p. 111-118, 1999.

MAFFRA, C. de Q. T.; MAZOLLA, M. **As razões dos desastres em território brasileiro**. In: SANTOS, R. F. dos (Org.). Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, p. 9-12, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Favelas e Comunidades Urbanas, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15788-favelas-e-comunidades-urbanas> . Acesso em: 20 de junho de 2024.

QUEIROGA, A. A.; OLIVEIRA, R. G. L.; FILGUEIRA, H. J. A.; CUNICO, C. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação aplicando diferentes modelos digitais de elevação no modelo Height above the Nearest Drainage (HAND). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 43, e191008, p. 1-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.191008>

QUEIROGA, A. A.; FILGUEIRA, H. J. A.; CUNICO, C. Correlação entre crescimento urbano e áreas sujeitas a inundação no município de João Pessoa-PB. **Revista Caminho de Geografia**, v. 25, n. 28, p. 284-298, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG259869966>

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>

SILVA, R. do N. Vulnerabilidade socioambiental e a ocorrência de eventos hidrometeorológicos na área urbana de Campina Grande–PB. 2020. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, João Pessoa, 2020.

TSUYUGUCHI, B. B. **Macro drenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: Caracterização, simulação e análises sistêmicas.** 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2015.