

ANÁLISE DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO POR MEIO DO MODELO HEIGHT ABOVE THE NEAREST DRAINAGE (HAND) NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE, PARAÍBA, BRASIL

ANALYSIS OF AREAS PRONE TO FLOOD USING THE HEIGHT ABOVE THE NEAREST DRAINAGE (HAND) MODEL IN THE MUNICIPALITY OF CAMPINA GRANDE, PARAÍBA STATE, BRAZIL

Sara Ribeiro Gomes¹
Hamilcar José Almeida Filgueira²

Resumo:

A crescente atenção direcionada às origens e repercussões dos desastres relacionados com fenômenos naturais tem ampliado seu espaço em discussões globais, evidenciando a necessidade de abordar o estudo e a prevenção desses fenômenos. Este trabalho investigou a influência de diferentes resoluções de modelos digitais de elevação (MDE) e sua interação com o modelo *Height Above Nearest Drainage* (HAND), na avaliação de susceptibilidade à inundação no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil. Os MDEs utilizados foram de resoluções espaciais de 90 m x 90 m, 30 m x 30 m e 10 m x 10. Utilizando o *software* QGIS, foi classificado as áreas mais vulneráveis na região metropolitana, que resultaram na validação do modelo. O sucesso da validação alcançou índices de até 100% em relação aos pontos suscetíveis a inundações mapeados pelo HAND, fomentando, assim, a formulação de estratégias mais eficazes de Redução do Risco de Desastres (RRD).

Palavras-chave: vulnerabilidade; redução de risco de desastre; modelo descritor do terreno.

Abstract:

The increasing attention directed towards the origins and repercussions of natural disaster-related phenomena has expanded its presence in global discussions, highlighting the need to address the study and prevention of these events. This study investigated the influence of different digital elevation model (DEM) resolutions and their interaction with the Height Above Nearest Drainage (HAND) model in assessing flood susceptibility in the municipality of Campina Grande, Paraíba, Brazil. The DEMs used had spatial resolutions of 90 m x 90 m, 30 m x 30 m, and 10 m x 10 m. Using QGIS software, vulnerable areas in the metropolitan region were classified, resulting in model validation. The validation success reached indices of up to 100% concerning flood-prone points mapped by HAND, thus promoting the formulation of more effective Disaster Risk Reduction (DRR) strategies.

Keywords: vulnerability; disaster risk reduction; terrain descriptor model.

¹ Estudante de graduação em Engenharia Ambiental, UFPB. E-mail: sararibeirogsxc@gmail.com. - ORCID: 0009-0001-7230-9045.

² Professor Titular da Universidade Federal da Paraíba. E-mail: hfilgueira@gmail.com. - ORCID: 0000-0002-4378-3477.

1. Introdução

Desastres, conforme definido pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia dos Desastres (CRED, 2023), são eventos que ultrapassam a capacidade de recuperação autônoma de uma região, demandando assistência externa; é uma situação repentina, que pode causar grandes prejuízos, devastação e sofrimento humano.

No Brasil, os desastres relacionados com fenômenos naturais são, comumente, de origens hidro-meteorológicas, como as secas e inundações, e agravados pela interferência humana (MAFFRA; MAZZOLA, 2007). Com relação às inundações, o Brasil figura entre os 15 países com maior população exposta a esses eventos, com cerca de 9,2 milhões de pessoas afetadas entre os anos 2000 e 2022 (UNDRR, 2023).

Alguns grupos populacionais estão mais suscetíveis aos desastres por inundação devido, principalmente, às suas condições de vulnerabilidade socioeconômica. A falta de um planejamento adequado para o desenvolvimento da infraestrutura urbana resulta na concentração dos menos privilegiados em áreas críticas, como margens de rios e encostas de morros (FREITAS *et al.*, 2014), favorecendo o risco a esses desastres. Em Campina Grande, essa problemática é particularmente evidente, pois, de acordo com Silva *et al.* (2020), os setores com vulnerabilidade alta ou muito alta abrigam parte de sua população em áreas que enfrentam múltiplas ameaças, tanto as de origens ambientais quanto as econômicas, sociais, de saúde e de infraestrutura.

Dessa maneira, para garantir o bem-estar da população, é fundamental compreender as ameaças e vulnerabilidades que afetam as comunidades e os indivíduos. Com base nessa caracterização, pode-se implementar medidas de segurança para redução do risco de desastres (RRD).

A coleta de dados precisos de fenômenos naturais apresenta complexidade, dada a dinâmica inerente a esses eventos. Assim, é essencial o uso de métodos empíricos, como a modelagem, para facilitar o entendimento e a previsão desses fenômenos (KOBİYAMA; MANFROI, 2010). Os modelos hidrológicos requerem vastos conjuntos de dados, que incluem séries históricas de chuva-vazão, além de informações topográficas (GOERL *et al.*, 2017). Em muitas regiões, no entanto, esses dados podem ser escassos ou até mesmo indisponíveis.

Em resposta a essa limitação, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu o modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND), proposto por Rennó *et al.*

(2008), um descritor do terreno que facilita a geração de mapas de inundação utilizando somente o Modelo Digital de Elevação (MDE) como dado de entrada.

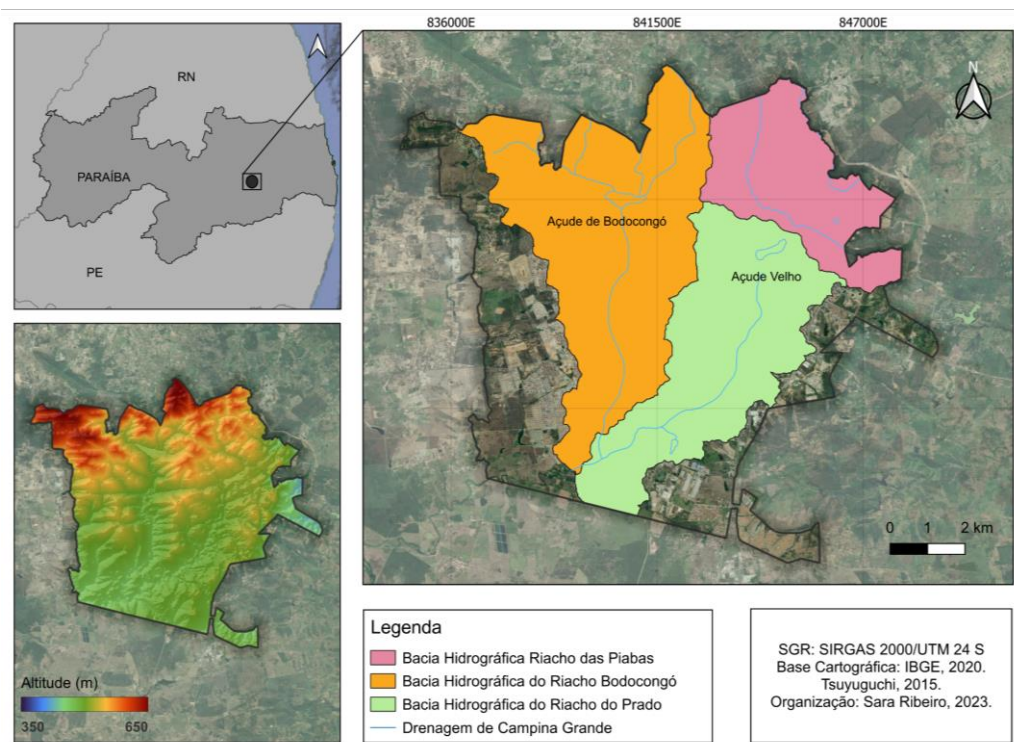
O objetivo deste trabalho foi empregar o modelo HAND para mapear áreas suscetíveis a inundações em Campina Grande, avaliando diferentes MDEs e identificando pontos com potencial risco de desastres na cidade.

2. Material e métodos

Área de estudo

O município de Campina Grande (Figura 1) está localizado no estado da Paraíba, na Região Geográfica Intermediária de Campina Grande e Região Geográfica Imediata de Campina Grande.

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



Fonte: Autores (2023).

Campina Grande é o segundo maior centro populacional do estado da Paraíba, com 419.379 habitantes em 2022, segundo o Censo do IBGE (2023), e enfrenta expressivos desafios socioambientais. Uma proporção considerável de sua população, cerca de mais de 8%, reside em vinte e uma favelas e comunidades urbanas (IBGE, 2019), situadas em áreas

propensas a risco como margens de rios e encostas de morros, vulneráveis a alagamentos e inundações.

Essas comunidades estão predominantemente localizadas nas sub-bacias hidrográficas dos Riachos Bodocongó, Piabas e Prado, que são parte integrante da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Modelo HAND

Três Modelos Digitais de Elevação (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 (HAKWER *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 do terreno em relação à rede de drenagem mais próxima, conforme Nobre *et al.* (2011). A variação altimétrica de cada *pixel* é recalculada, criando uma representação do terreno que indica a altura acima do canal de escoamento e identifica áreas suscetíveis a inundações (Figura 2).

Figura 2. Ilustração simplificada sobre a normalização do modelo H



Fonte: Autores (2024).

Para ajuste do limiar de drenagem, utilizou-se a rede hidrográfica real do município como base. Esse limiar é o único parâmetro ajustável no modelo. As sub-bacias hidrográficas mostraram variações nesses valores (Tabela 1), influenciadas pela declividade do terreno e pela resolução dos dados. Especificamente, a bacia do Riacho Bodocongó foi dividida em duas (BHR Bodocongó I e II), acima e abaixo do açude Velho, para capturar com precisão as 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

Fonte: Autores (2024).

Os MDEs gerados pelo método HAND foram reclassificados no *software* QGIS para representar as áreas propensas a inundações. Foram criadas cinco categorias, refletindo o grau de susceptibilidade à inundação: muito baixo (5m de altura do HAND), baixo (4m de altura do HAND), médio (3m de altura do HAND), alto (2m de altura do HAND) e muito alto (1m de altura do HAND). Para fins de comparação, esses níveis foram agrupados em Classes de 1 a 5,

sendo a Classe 1 associada ao menor risco e a Classe 5 ao maior risco. No contexto das pesquisas recentes, esse método comparativo também foi empregado por Queiroga *et al.* (2024).

A validação dos mapas gerados a partir do modelo HAND incluiu o uso de pontos de inundação fornecidos pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Campina Grande (COMPDEC-CG).

3. Resultados e discussão

Mapeamento e comparação

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.

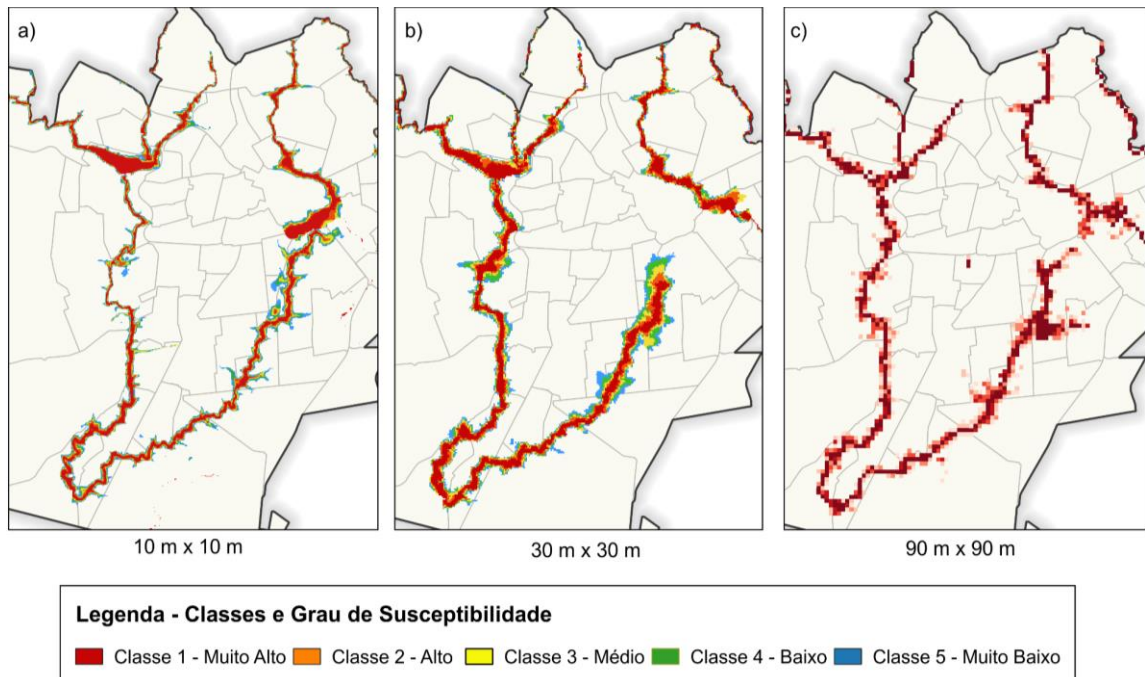
Tabela 2. Porcentagem HAND em função da área metropolitana de Campina Grande

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

Fonte: Autores (2024).

O MDE de 30 m x 30 m cobriu a maior área, com 9,2%, seguido pelo MDE de 90 m x 90 m com 9,1% e pelo MDE de 10 m x 10 m com 7,22%. Ademais, constatou-se que a Classe 5, indicadora de alto risco de inundação, teve sua proporção diminuída à medida que a resolução espacial aumentava. O MDE de 90 m x 90 m registrou a maior área afetada com 4,62%, em contraste com o MDE de 10 m x 10 m que apresentou a menor, com 2,56%. O MDE de 30 m x 30 m mostrou uma área correspondente a 2,68% nesta categoria. O estudo de Claudino *et al.* (2022) também identificou superestimação da mancha ao utilizar o MDE de 90 m x 90 m. As manchas estão representadas conforme a Figura 3.

Figura 3. Mapeamento reclassificado gerado pelo modelo HAND

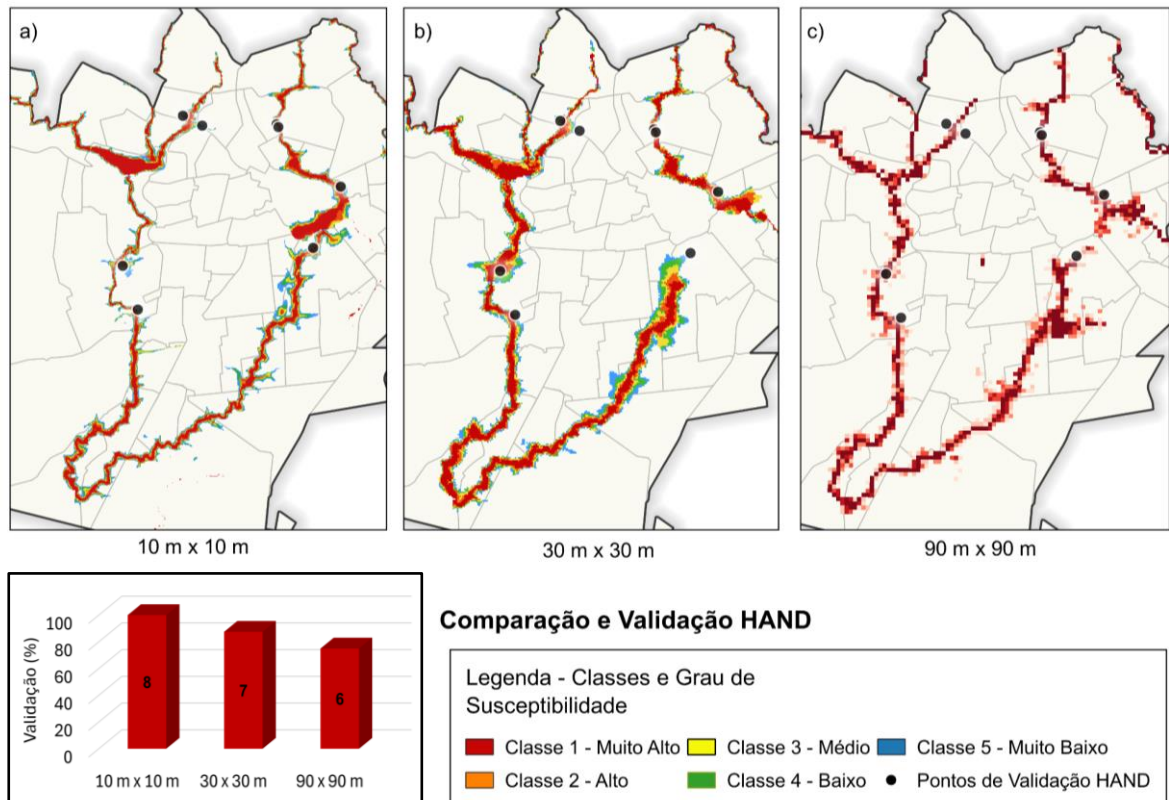


Fonte: Autores (2024).

Para avaliar a acurácia do modelo HAND em Campina Grande, foram analisados oito pontos de inundação. Esses pontos resultaram da combinação de dados da COMPDEC-CG com observações de visitas *in loco*. Em colaboração com a Defesa Civil, as visitas se concentraram em áreas com um histórico recorrente de inundações, permitindo uma melhor avaliação das condições locais.

Durante a análise (Figura 4), tornou-se evidente que o MDE de resolução espacial 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%). 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). Esses resultados vão de encontro aos obtidos por Queiroga *et al.* (2024).

Figura 4. Cartograma de validação do modelo HAND



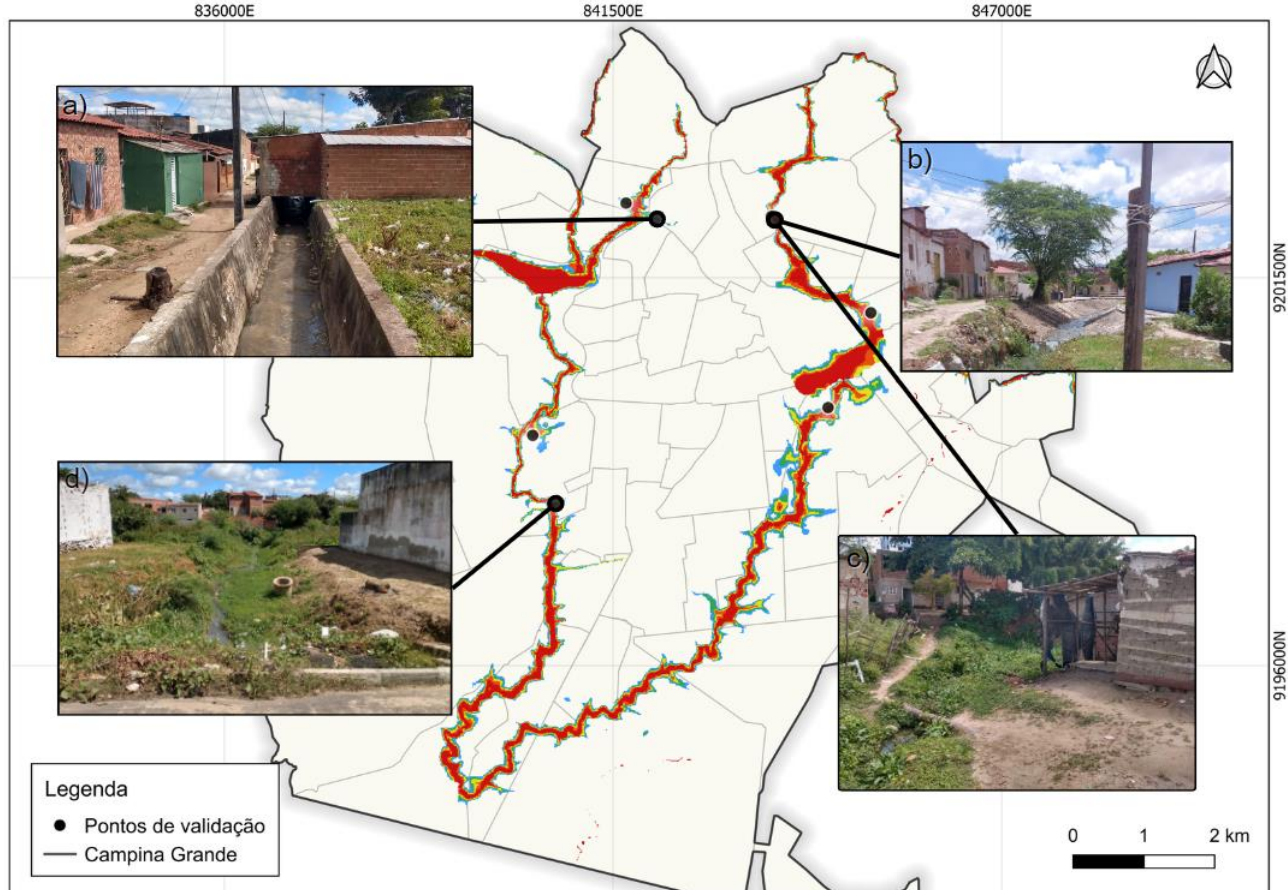
Fonte: Autores (2024).

Os bairros Palmeira, Alto Branco e Conceição se destacam como áreas que evidenciam o risco e a vulnerabilidade social para desastres por inundações na cidade de Campina Grande. Conforme as informações da COMPDEC-CG, o enfoque das inundações concentra-se principalmente nesta região.

Além disso, é importante ressaltar que o modelo HAND superestimou a elevação em certos pontos, como na Faculdade Integrada de Patos/Campina Grande (FIP) e no bairro Universitário, devido à influência da altitude local nas dinâmicas de escoamento. Em alguns desses locais, ocorreram inundações, conforme indicado pelo modelo HAND e posterior confirmação da COMPDEC-CG. De acordo com esse órgão, essas situações foram resolvidas com êxito por meio da implantação de um sistema de drenagem superficial aparentemente bem estruturado.

Embora essas infraestruturas tenham contribuído para conter as inundações em muitas áreas, é importante reconhecer que existem comunidades que continuam expostas a riscos devido à falta de acesso a essas medidas de proteção e também pelas faltas de percepção de risco e de educação ambiental (Figura 5).

Figura 5. Mapa de áreas vulneráveis de Campina Grande, utilizando o MDE 10m x 10m e atual situação das áreas de risco; a) casa construída sobre rede de drenagem no bairro Jeremias; b) e c) moradias próximas ao rio e rede de drenagem nos bairros Palmeira e Conceição respectivamente; e d) resíduos sólidos obstruindo a drenagem natural no bairro Dinamérica.



Fonte: Autores (2024).

Além disso, o aumento da área impermeável do solo e a diminuição da capacidade de absorção, somados ao acúmulo de lixo nos sistemas de drenagem, exercem uma pressão considerável sobre a infraestrutura urbana de Campina Grande. Isso faz com que a cidade fique mais suscetível a eventos de alagamentos e inundações (SILVA, 2020)

4. Conclusão

O produto HAND obtido por meio do MDE gerado por Tsuyuguchi (2015), com resolução espacial de 10 m x 10 m, demonstrou maior acurácia, abrangendo todos os pontos relevantes, inclusive aqueles verificados em vistas *in loco*. Em contraste, o MDE SRTM, com resolução espacial de 90 m x 90 m, mapeou as áreas suscetíveis à inundações, porém limitando-se a apenas duas classes HAND.

Por sua vez, o MDE FABDEM, com resolução espacial de 30 m x 30 m, apresentou um hiperdimensionamento da Classe 5, superando até mesmo os resultados obtidos pelo MDE SRTM. Esses resultados destacam a importância da utilização de dados precisos e tratados para o mapeamento de áreas suscetíveis a desastres por inundação.

No âmbito do planejamento urbano, esses mapas, além do fator educativo, podem ser utilizados para a elaboração de um Plano de Gerenciamento de Múltiplos Riscos, pois as inundações trazem consigo prejuízos substanciais, afetando não apenas a estrutura das comunidades, como também a saúde e a integridade 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. 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 inundação 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, 1999. pp. 111-118.

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, 2007. pp. 9-12.

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**. 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. **Macrodrenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: Caracterização, simulação e análises sistêmicas**. 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.