APLICAÇÃO DO MODELO HAND MODEL PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PAU DOS FERROS/RN

Melissy Kaianny dos Santos Pinheiro [1] *; Alex Pinheiro Feitosa* [2]

RESUMO – O aumento das atividades humanas e o crescimento descontrolado das cidades alteram o fluxo natural da água e aumentam a frequência de inundações e alagamentos. Dadas as limitações da cartografia, este estudo utilizou o modelo HAND (Height Above Nearest Drainage) para identificar e mapear as áreas afetadas por esses fenômenos no município de Pau dos Ferros/RN. Essa metodologia utilizou o modelo HAND, uma ferramenta de processamento geoespacial que utiliza um modelo digital de elevação (DEM) para calcular a elevação relativa de cada local em relação ao canal de drenagem mais próximo. O fluxo de trabalho incluiu a correção do DEM, a determinação da direção e do volume do fluxo, a criação do HAND e, finalmente, a reclassificação dos dados em cinco classes de vulnerabilidade (muito alta, alta, moderada, baixa, muito baixa) utilizando o software QGIS. O estudo de caso concentrou-se nas áreas urbanas do município. Os resultados mostraram uma concentração de risco, com 18,54 km² (quase toda a área urbana mapeada) classificados nas classes de risco "muito alto" e "alto" (de 0 m a 5 m). Este resultado confirma que a urbanização avança de forma arbitrária e se estende às áreas de inundação.

ABSTRACT– Increased human activity and uncontrolled urban growth alter the natural flow of water and increase the frequency of floods and inundations. Given the limitations of cartography, this study used the HAND (Height Above Nearest Drainage) model to identify and map the areas affected by these phenomena in the municipality of Pau dos Ferros/RN. This methodology used the HAND model, a geospatial processing tool that uses a digital elevation model (DEM) to calculate the relative elevation of each location in relation to the nearest drainage channel. The workflow included DEM correction, determination of flow direction and volume, HAND creation, and finally, reclassification of the data into five vulnerability classes (very high, high, moderate, low, very low) using QGIS software. The case study focused on the urban areas of the municipality. The results showed a concentration of risk, with 18.54 km² (almost the entire mapped urban area) classified in the "very high" and "high" risk classes (from 0 m to 5 m). This result confirms that urbanization is advancing arbitrarily and extending into flood-prone areas..

Palavras-Chave – Áreas críticas. Hidrologia. Classificação. Gestão de Risco.

[1]) Bacharela em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-árido *campus* de Pau dos Ferros, 84-99662-7071, melissy.pinheiro@alunos.ufersa.edu.br
[2]) Professor Adjunto, Universidade Federal Rural do Semi-árido *campus* de Pau dos Ferros, 84-99426-2884, alex.feitosa@ufersa.edu.brl

1. INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades antrópicas e o crescimento urbano desordenado modificaram significativamente o uso e a ocupação do solo à escala global. O Brasil é marcado por um forte processo de urbanização ao longo do século XX que foi responsável pela expansão sem o planejamento urbano adequado de grandes cidades, resultando em marginalização social, irregularidades fundiárias e desigualdades socioeconômicas (Santos, 2008).

O município de Pau dos Ferros/RN registra um crescimento populacional contínuo, que desconsidera amplamente a vulnerabilidade da área a ser ocupada. Esse desenvolvimento contribui para o aumento do risco de inundações em vários bairros, especialmente em épocas de chuvas acima da média, características do inverno local.

Diversos métodos têm sido desenvolvidos para mapear e identificar áreas suscetíveis, incluindo o HEC-HAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), o HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) (USACE, 2024). Tais modelos variam desde abordagens empíricas até complexas simulações computacionais, destacando-se na representação de processos hidrológicos em bacias e na drenagem urbana. Entretanto, a maioria deles exige um grande volume de dados, recursos financeiros consideráveis ou infraestrutura tecnológica avançada, o que os torna pouco acessíveis para municípios de pequeno e médio porte. Dessa forma, surge a necessidade de se empregar metodologias mais simples, mas igualmente eficazes, que possibilitem análises territoriais de forma prática.

Entretanto, a aplicação de modelos hidrodinâmicos como o HEC-RAS exige um elevado volume de dados, a literatura técnica aponta desafios na sua operacionalização; conforme observado por Lauriano (2009), embora o HEC-RAS ofereça grande capacidade de detalhamento e excelentes ferramentas gráficas, apresenta maior complexidade na estabilidade numérica, enquanto modelos mais simplificados podem oferecer maior facilidade de convergência durante as simulações. Estas limitações tornam tais ferramentas, muitas vezes, pouco acessíveis para municípios de pequeno e médio porte (LAURIANO, 2009). Dessa forma, surge a necessidade de se empregar metodologias mais simples e também eficazes, que possibilitem análises territoriais de forma prática.

Entre os métodos mais acessíveis, o modelo HAND (Height Above Nearest Drainage) surgiu como uma alternativa eficiente para identificar áreas de inundação e de alagamentos. O HAND foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) objetivando revelar áreas susceptíveis à inundação (ROSIN et al., 2003; RENNO et al., 2008; NOBRE et al., 2011a).

A partir do modelo digital de terreno (MDT) o algoritmo HAND gera um modelo sujeito à inundação, em formato raster, em resumo, trata-se de uma imagem digital que representa literalmente

a altura da drenagem mais próxima, que na prática significa uma altimetria normalizada em relação à rede de drenagem da área de estudo (MILANESI et al., 2017). Assim, no modelo hidrológico HAND o pixel com menor valor está mais próximo do talvegue da rede de drenagem, logo, representa maior suscetibilidade à inundação (RENNO et al., 2008; NOBRE et al., 2011a).

Estudos recentes, como o de Ferreira et al. (2024), demonstram a eficiência dessa técnica na identificação de áreas suscetíveis a alagamentos em sedes municipais da Amazônia, reforçando a aplicabilidade do modelo para o zoneamento de riscos e o planejamento urbano em localidades. Portanto, o objetivo central deste trabalho é aplicar o método HAND para mapear e analisar áreas propensas a inundações e alagamentos no município de Pau dos Ferros/RN.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o Modelo HAND (Height Above Nearest Drainage), que consiste em um método hidrológico para identificação de áreas susceptíveis a inundações com base na altitude do terreno em relação ao dreno mais próximo. Este modelo permite a classificação do terreno segundo critérios topográficos e hidrológicos, hierarquizando as áreas em níveis de suscetibilidade alto, médio, baixo e não suscetíveis.

A metodologia de pesquisa foi construída em uma sequência contínua e lógica para garantir a progressão sistemática do estudo. Conforme mostrado no fluxograma (Figura 01), o processo começa com a caracterização da região de Pau dos Ferros, que forma a base para a formulação do problema.

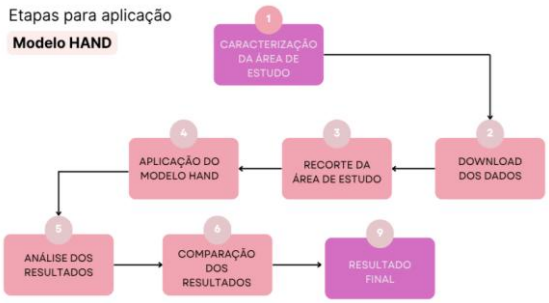


Figura 01- Fluxograma das etapas de aplicação do modelo Hand

O município de Pau dos Ferros (Figura 02) localiza-se na mesorregião do Oeste Potiguar, fazendo parte da microrregião de Pau dos Ferros. Suas coordenadas geográficas são 6°06 '33 " de latitude Sul e 38°12' 16" de longitude Oeste, situando-se a aproximadamente 400 km da capital do Estado, Natal (IDEMA, 2008). A área total do município é de 259,96 km², correspondente a cerca de 0,49% da superfície estadual, com altitude média de 193 metros acima do nível do mar.

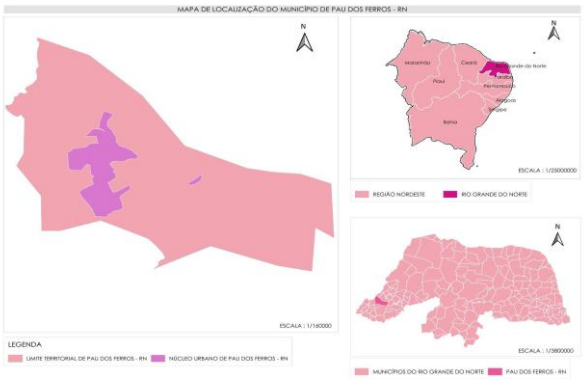


Figura 02 – Localização da cidade de Pau dos Ferros-RN

O clima predominante no município em questão é o semiárido, característico do sertão nordestino, com período chuvoso concentrado entre os meses de Janeiro a Junho (Climatempo, 2025). As temperaturas médias anuais são de 28,1°C, com máximas de 36°C e mínimas de 21°C, apresentando umidade relativa média anual de 66% e cerca de 2.700 horas de insolação por ano (IDEMA, 2008). Essas condições climáticas exercem influência direta sobre a dinâmica hidrológica e o comportamento do escoamento superficial, elementos essenciais para a aplicação do modelo HAND.

O relevo do município apresenta altitudes variando entre 100 e 200 metros, caracterizando-se por uma topografia suave e pela presença da Depressão Sertaneja, que compreende terrenos baixos situados entre o Planalto da Borborema e a Chapada do Apodi (IDEMA, 2008). Do ponto de vista geológico, Pau dos Ferros está inserido em uma área de rochas metamórficas, geomorfologicamente, predominam formas tabulares de relevo, de topos planos e vales de fundo plano (IDEMA, 2008), que exercem papel determinante na modelagem do terreno e no comportamento do escoamento superficial, sendo elementos fundamentais para a análise topográfica do modelo HAND.

Hidrograficamente, o município encontra-se 100% inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, tendo o Rio Apodi como principal curso d'água. Entre os reservatórios de maior porte, destaca-se a Barragem Pau dos Ferros, com capacidade de armazenamento de 54.846.000m³ (metros cúbicos). Esse sistema hídrico desempenha papel essencial na manutenção da disponibilidade de água do município.

Dessa forma, as características físicas e ambientais de Pau dos Ferros tornam o município uma área propícia para a aplicação do modelo HAND, para auxiliar a análise do relevo e da drenagem e compreender a vulnerabilidade do território a processos de inundação e escoamento superficial, fornecendo subsídios técnicos relevantes.

O programa HAND Model oferece ao usuário duas abordagens para a obtenção do produto final que são ilustradas na Figura 03 e detalhadas abaixo.



Figura 03 - Métodos para obtenção do modelo final

Processamento Direto: Utilização de um comando único, conforme Figura 10, que automatiza todas as etapas do fluxo de trabalho, como: correção, acumulação e cálculo do HAND (Nobre et al., 2015).

A outra maneira para a obtenção do nosso produto é o processamento sequencial: Execução das ferramentas de forma separada (Correção do DEM, Geração da Área de Acumulação, Drenagem e Modelo HAND), permitindo maior controle e inspeção dos produtos intermediários. Para fins de rigor metodológico, esta pesquisa adotou o Processamento Sequencial (Nobre et al.,2015). Dessa forma, será possível detalhar e ilustrar cada fase que foi utilizada no mapa de suscetibilidade do perímetro urbano de Pau dos Ferros/RN.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a finalização da modelagem hidrológica, o arquivo Raster resultante foi importado para o software QGIS (Sistema de Informação Geográfica) para a etapa de reclassificação. Este processo é de suma importância por converter a elevação contínua em categorias discretas de suscetibilidade. Os limites dessa reclassificação foram definidos com base em critérios estabelecidos de acordo com o referencial GeoOne (2024), permitindo a separação das áreas em cinco classes: Muito Alto (0m a 1m), Alto (1m a 5m), Médio (5m a 10m), Baixa (10m a 25m) e Muito Baixa (25m a 100m). A correspondência entre os intervalos de altura (em metros) e as classes de risco está detalhada na tabela 01 abaixo. O produto final deste procedimento é a Figura 04, que oferece uma delimitação clara e visual das áreas de riscos em Pau dos Ferros/RN.



Figura 04 - Mapa de Suscetibilidade

Para permitir a análise quantitativa das zonas de vulnerabilidade por categorias, foi necessário converter o arquivo raster do modelo HAND para o formato vetorial. Os resultados, apresentados na Figura 05, mostram uma forte concentração de zonas nas classes de risco mais elevadas.

CLASSIFICAÇÃO	ÁREA KM²	PROPORÇÃO DA ÁREA MAPEADA
MUITO ALTO	7,17	38,6%
ALTO	11,37	61,3%
MÉDIA	0,015	< 0,1%
BAIXA	0,0055	< 0,1%
MUITO BAIXA	0	0%

Figura 05 - Distribuição espacial das classes de risco

A Figura 05 indica que a categoria de risco Muito Elevado (0m a 1m) abrange 7,17 km², este resultado semelhante foi obtido no trabalho de Milanesi et al. (2017), que observaram maior valor em áreas com grandes corpos d'água, bem como ocupação urbana localizada nas planícies e várzeas de rios, o que ocorre no município em estudo na planície de inundação do Rio Apodi-Mossoró e seus afluentes.

Além disso, a união da categoria de risco Muito Elevado (0m a 1m) e a categoria Elevado (1m a 5m)11,37 km² do território mapeado, foi observado que o somatório dessas duas classes críticas totaliza 18,54 km², demonstrando que a maior parte da área urbana analisada está situada em uma zona de alto risco. Este resultado confirma que o processo de urbanização em Pau dos Ferros/RN ocorreu predominantemente, em áreas com limitações topográficas. Isso sugere que a ocupação do solo incidiu, sobretudo, sobre a planície de inundação do Rio Apodi-Mossoró e seus afluentes, merecendo um olhar especial pela gestão municipal.

Em contraste, as classes Média (5m a 10 m) e Baixa (10m a 25m) representam extensões significativamente menores, correspondendo a apenas 0,015 km² e 0,0055 km², respectivamente. Por fim, a categoria de menor risco, as zonas Muito Baixas (acima de 25 m), não apresenta ocupação significativa na área de estudo. Em suma, as zonas de Muito Alto e Alto risco cobrem a quase totalidade do território analisado, enquanto as zonas consideradas seguras são praticamente inexistentes.

O modelo HAND forneceu resultados que estabelecem uma conexão direta com o trabalho de Vilaça e Costa (2022), o qual descreve as zonas inundáveis da cidade. O estudo de Vilaça e Costa (2022) indica que a falta de medidas públicas e a insuficiência do sistema de drenagem urbana são as principais causas das inundações. O presente estudo, contudo, utilizou o software HAND para quantificar a vulnerabilidade física que o planejamento urbano não havia mapeado.

O Centro da cidade configura-se como o principal ponto de convergência entre as duas análises. O Centro foi classificado nas categorias de Vulnerabilidade Muito Alta e Vulnerabilidade Alta (0m a 5m). Essa classificação confirma que o polo econômico da cidade está situado em uma baixa cota topográfica. O artigo de Vilaça e Costa (2022) já mencionava que as inundações resultam da falta de um sistema de drenagem eficiente e da ocupação de áreas críticas. O HAND, portanto, corroborou a ocorrência dessa ocupação inadequada, notadamente em um vale sujeito a inundações fluviais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido atingiu o seu objetivo principal ao identificar e mapear a suscetibilidade hidrológica do perímetro urbano de Pau dos Ferros/RN, utilizando o modelo HAND, que por sua vez, pode-se concluir que esse software é uma ferramenta eficaz e acessível que fornece o diagnóstico necessário para o desenvolvimento de políticas públicas de mitigação de riscos em Pau dos Ferros/RN.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a cidade de Pau dos Ferros tem uma área suscetível significativa e apresenta uma concentração crítica de risco, com 18,54 km² (praticamente toda a área urbana mapeada) classificados nas faixas de suscetibilidade muito alta e alta (0 m a 5 m), merecendo ações efetivas do poder público municipal, para mitigar os efeitos durante as chuvas nessas áreas.

Pode-se inferir também que é necessário o poder público municipal, buscar uma articulação com outros entes federativos, para a elaboração de um plano de drenagem urbana, com vistas a mitigar os efeitos danosos provocados pelas chuvas a população da área urbana.

5. REFERÊNCIAS

FERREIRA, H. de S. et al. *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. 12, n. 1, p. 502, 2024.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEMA). Perfil do seu município: Pau dos Ferros. Natal, 2008.

GEOONE. *HAND Model: entenda como ele pode ajudar no mapeamento de áreas de inundação*. São Paulo. 2024.

LAURIANO, A. W. *Estudo de ruptura da Barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS*. 2009. 193 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MILANESI, J.; QUADROS, E. L. L. de; LAHM, R. A. *Utilização do modelo HAND no reconhecimento dos terrenos sujeitos à inundação* – Porto Alegre/RS. Revista Brasileira de Cartografia, Uberlândia, v. 69, n. 4, p. 675–686, abr. 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n4-44327.

NOBRE, A.D. et al. Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain *model*. Eselvier - Journal of Hydrology, v.404, 2011. p.13–29 2011a. doi:10.1016/jhydrol.2011.03.051.

NOBRE, A.D. et al. *HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp.10581, 2015.

RENNÓ, C. D; et al. *HAND: a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-fi rme rainforest environments in Amazonia*. Eselvier - Remote Sensing of Environment, v.112, n.9, p. 3469-3481, 2008.

ROSIM, S. et al. *Terrahidro - Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos*. XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 2003. Anais. p. 2589–2596, 2003.

SANTOS, M. *A urbanização brasileira*. 5ª ed. São Paulo: Edusp, 2008. 176p.

USACE – UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-HMS Hydrologic Modeling System. Hydrologic Engineering Center, 2024. Disponível em: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/. Acesso em: 13 jul. 2026.

VILAÇA, I. L. V. V.; COSTA, F. R. *Caracterização Das Áreas De Alagamentos Na Cidade De Pau Dos Ferros – RN*. Sociedade e Território, *[S. l.]*, v. 34, n. 2, p. 83–101, 2022.