

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS DE INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DA CIDADE DE BAGÉ/RS UTILIZANDO O MODELO HAND

MAPPING OF FLOOD-SUSCEPTIBLE AREAS IN THE URBAN AREA OF BAGÉ/RS USING THE HAND MODEL

Gabriel Delpino da Silveira¹ e Maurício Couto Polidori²

Resumo

Os problemas ambientais relacionados às inundações urbanas são cada vez mais frequentes, agravados pela urbanização inadequada e mudanças climáticas, representando um desafio para a Agenda 2030, especialmente o objetivo de desenvolvimento sustentável 11, que busca tornar as cidades mais seguras e resilientes. Este estudo objetiva mapear áreas suscetíveis a inundações na cidade de Bagé, RS, utilizando o Modelo HAND (Height Above Nearest Drainage), uma ferramenta hidrológica que identifica zonas de risco. Com o uso de geotecnologias e dados do modelo digital de elevação (MDE) no software QGIS, o estudo revelou áreas com diferentes níveis de suscetibilidade. Os resultados apontam áreas críticas de risco, reforçando a necessidade de planejamento urbano para mitigar danos. Conclui-se que 60,43% da área urbana de Bagé está em áreas suscetíveis a inundações, enfatizando a urgência de estratégias de planejamento urbano para fortalecer a resiliência e facilitar uma gestão eficaz de desastres em cidades de médio porte.

Palavras-chave: urbanização, inundação urbana, geotecnologia.

Abstract

Environmental issues related to urban flooding are increasingly frequent, exacerbated by unplanned urbanization and climate change, representing a challenge for the 2030 Agenda, particularly SDG 11, which seeks to make cities safer and more resilient. This study aims to map flood-susceptible areas in the city of Bagé, RS, using the HAND Model (Height Above Nearest Drainage), a hydrological tool that identifies risk zones. Using geotechnologies and digital elevation model (DEM) data in QGIS software, the study revealed areas with varying susceptibility levels. The results highlight critical risk areas, reinforcing the need for urban planning to mitigate damage. The research concludes that 60.43% of the urban area of Bagé is in flood-susceptible zones, emphasizing the urgency of urban planning strategies to strengthen resilience and facilitate effective disaster management in medium-sized cities.

Keywords: urbanization, urban flood, geotechnology.

¹ Mestre em Arquitetura e Urbanismo pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL/2024) e Arquiteto e Urbanista pela Faculdade de Arquitetura (URCAMP/2020) – gabriel_ds@icloud.com

² Doutor em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia (UFRGS/2005), Mestre em Planejamento Urbano e Regional pelo Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional (UFRGS/1996) e Arquiteto e Urbanista pela Faculdade de Arquitetura (UFPEL/1982) – mauricio.polidori@gmail.com

Introdução

As questões de sustentabilidade urbana, especialmente aquelas vinculadas aos desafios e perspectivas da resiliência das cidades perante às mudanças climáticas, são alvos de reflexões e debates constantes na sociedade atual. A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável afirma, no objetivo 11, que busca tornar os assentamentos humanos mais resilientes e sustentáveis, além de buscar reduzir significativamente o número de mortes e pessoas afetadas por catástrofes, principalmente os desastres relacionados à água.

Entre 2000 e 2019, o *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2020) analisou e publicou um relatório, em 2020, que traz quantitativos sobre as ocorrências de desastres naturais no mundo. O relatório constatou a morte de 1.23 milhões de pessoas por desastres naturais e um total de 4 bilhões de pessoas atingidas. Já no âmbito econômico, os prejuízos somaram 2,97 trilhões de dólares para as economias globais. Quando comparado à 1980 e 1999, houve um aumento de ocorrências que, segundo o relatório, deu-se principalmente pelas mudanças climáticas.

Dentre eles, o tipo mais comum de desastre natural pontuado no relatório foi a inundação. O UNDRR (2020) mostrou um aumento significativo de 134% na ocorrência deste tipo de desastre natural, já que entre 1980 e 1999 foram 1.389 ocorrências e entre 2000 e 2020 as ocorrências somaram 3.254.

Além do aumento de ocorrências de inundações pelas mudanças climáticas, um item que está ligado aos eventos de inundações urbanas foi o crescimento urbano nas áreas de inundação dos cursos de água, através do processo de urbanização no Brasil, que ocorreu em função de interesses imobiliários, sem atenção a um planejamento urbano comprometido com a qualidade ambiental e sem amparo em políticas públicas para a preservação da natureza. Como consequência, destaca-se a alta impermeabilização do solo, reduzindo a infiltração de água no terreno e aumentando o escoamento superficial, além das constantes modificações de topografia e a retificação dos cursos d'água (Tábatha Carvalho da Silva, 2016).

Visando a redução do risco de desastres, medidas não-estruturais podem ser aplicadas para adaptação e prevenção frente aos desastres naturais, sobretudo às inundações urbanas. O reconhecimento e o mapeamento de áreas suscetíveis de inundações, exemplos de medidas não-estruturais, são ferramentas importantes para a análise e preparação da população, juntamente aos órgãos públicos responsáveis, para evitar perdas e garantir a resiliência das cidades (Carlos Tucci, 2003).

Utilizando a modelagem urbana e os sistemas de informações geográficas (SIG), aliados aos dados de sensoriamento remoto, existe a possibilidade de identificar, mapear e analisar as áreas suscetíveis de inundações. Quando inserem modelos digitais de elevação (MDE) ou de terreno (MDT) nos modelos hidrológicos, possibilitam provisionar a direção e o fluxo de escoamento das águas (Opolot, 2013).

A partir dessas informações, pode ser obtido um zoneamento no mapa de inundação, que permite identificar diferentes níveis de risco e facilitar o controle mais eficaz do uso do solo, por meio de leis de proteção e ocupação, além de diretrizes normativas e legais. Segundo VEYRET (2007), o caráter objetivo do risco só pode ser alcançado após o correto zoneamento das áreas mais vulneráveis às inundações.

O Modelo Height Above Nearest Drainage (HAND), considerado um modelo hidrológico capaz de representar as áreas suscetíveis de inundações, utiliza a diferença de altitude obtida pelo modelo digital de terreno (MDT) e a linha de drenagem mais próxima. O

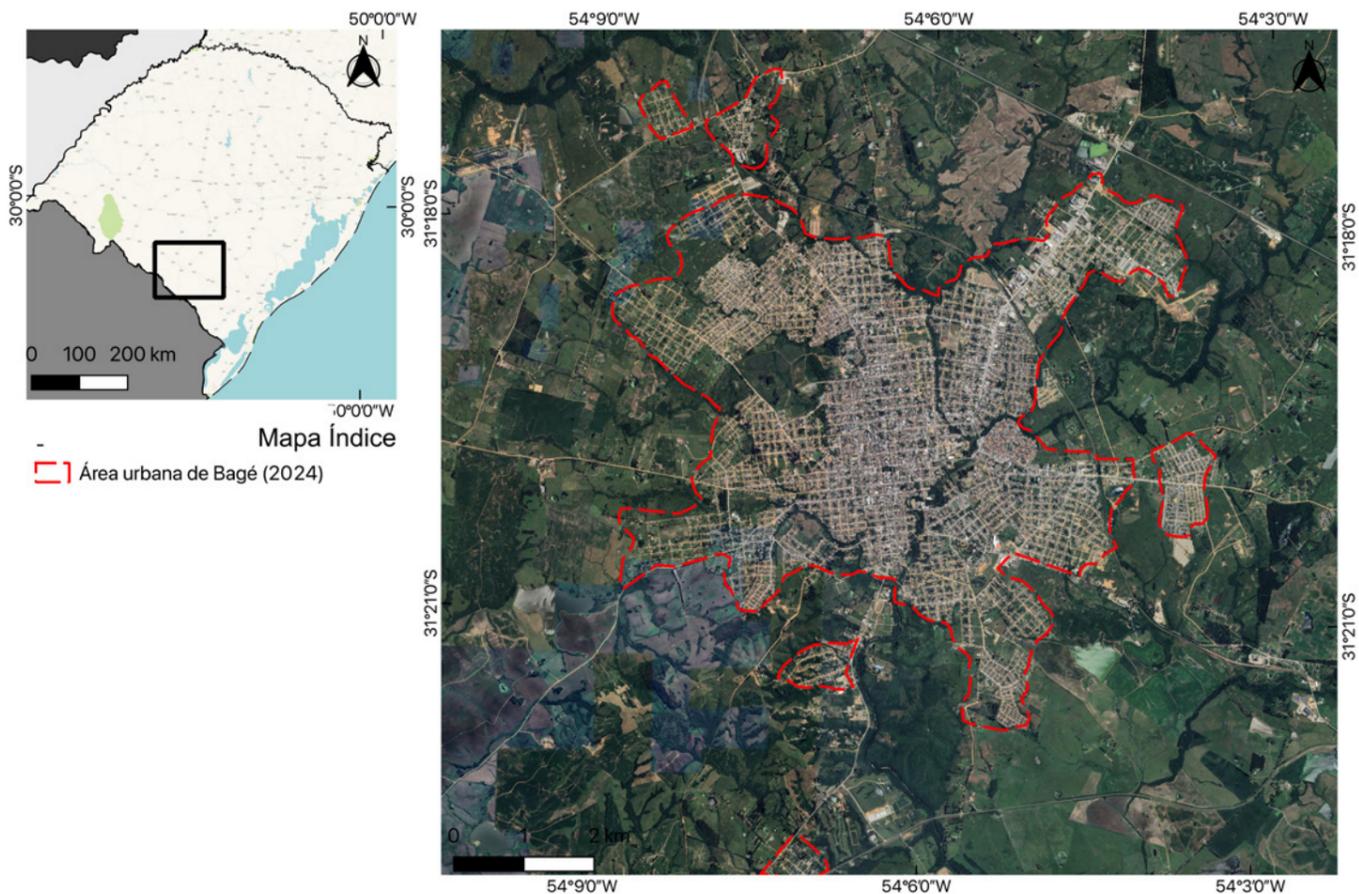


Figura 1 - Imagem de satélite da cidade de Bagé/RS. Fonte: elaborado pelo Autor (2024), a partir de dados disponibilizados pelo Google (2023).

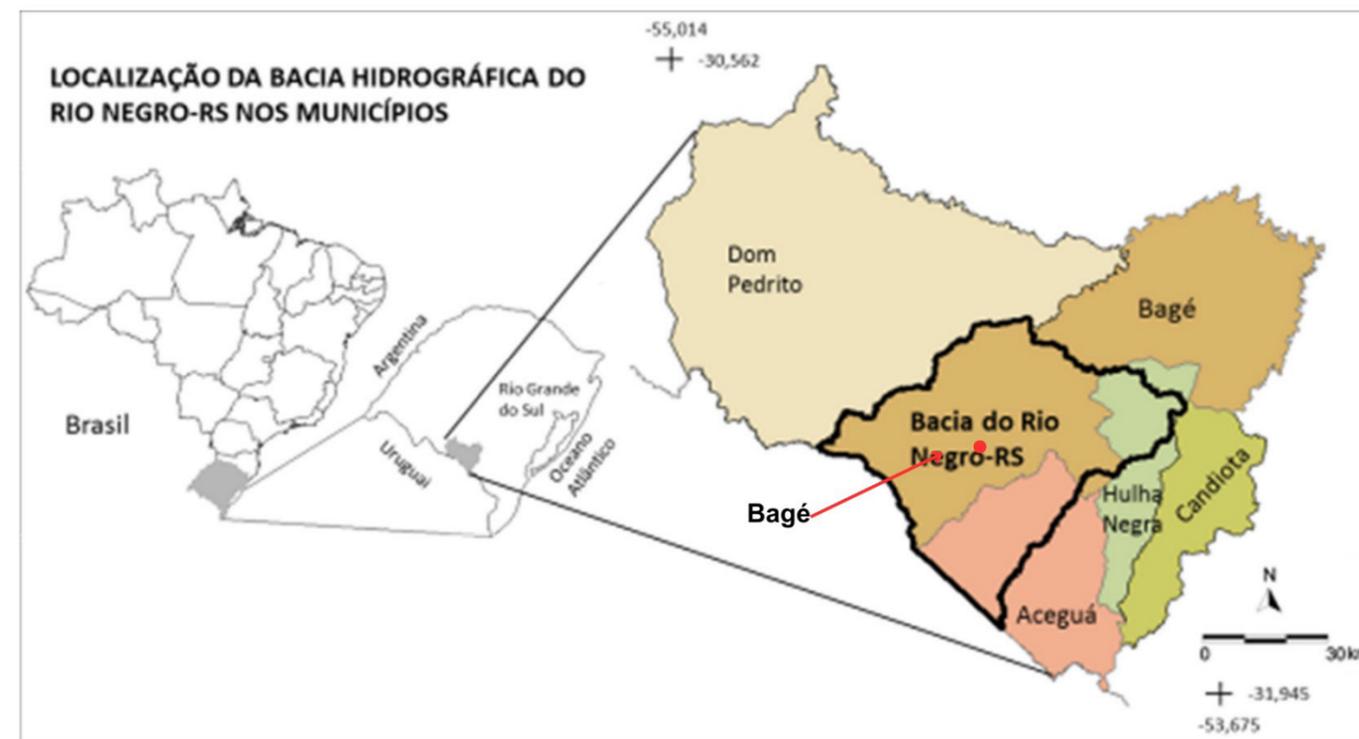
HAND, apresentado por Rennó et al. (2008) e NOBRE et al. (2011) se destaca por sua simplicidade de dados de entrada e a facilidade para obtenção do resultado final.

Em busca de discutir os desafios da Agenda 2030, sobretudo perante às mudanças climáticas e os desastres naturais relacionados às inundações, esta pesquisa tem por objetivo realizar o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações na área urbana da cidade de Bagé/RS, utilizando o Modelo HAND, para contribuir com a elaboração do zoneamento de risco, a adaptação e resiliência do município perante as intensas mudanças climáticas a serem vistas no futuro.

Caracterização da área de estudo

O município de Bagé (Figura 1) está localizado no Estado do Rio Grande do Sul, na latitude 31° 19' 53" Sul e longitude 54° 06' 25" Oeste, correspondente ao sistema de coordenadas geográficas WGS 84 (*World Geodetic System*). A cidade é considerada de porte médio, com 121.518 habitantes e distante 375 km da capital Porto Alegre (IBGE, 2022).

Relacionado às formas de relevo, Bagé/RS está situada numa colina (ou cerro), onde apresenta relevo acidentado, com elevações e depressões cobertas por vegetação nativa, sendo incluso em duas regiões geomorfológicas: planalto rebaixado sul-rio-grandense, que é caracterizado por ter relevo dissecado com topos predominantemente suaves e convexos, além da região da depressão do Rio Ibicuí, que se caracteriza por relevo alongado de topo plano e encostas de baixa declividade (IBGE, 2019).



A área urbana de Bagé/RS, uma das cidades de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, está situada na Bacia do Rio Negro (Figura 2) que tem 69.000km² de abrangência, sendo apenas 3.000km² no território brasileiro, englobando as cidades de Aceguá, Bagé, Candiota, Dom Pedrito e Hulha Negra, onde a nascente está localizada na última cidade. Aumentando o alcance, se tem a região hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, que abrange 128.900km² no Estado do Rio Grande do Sul, onde se encontra a Bacia do Rio Negro e conseqüentemente a cidade de Bagé/RS.

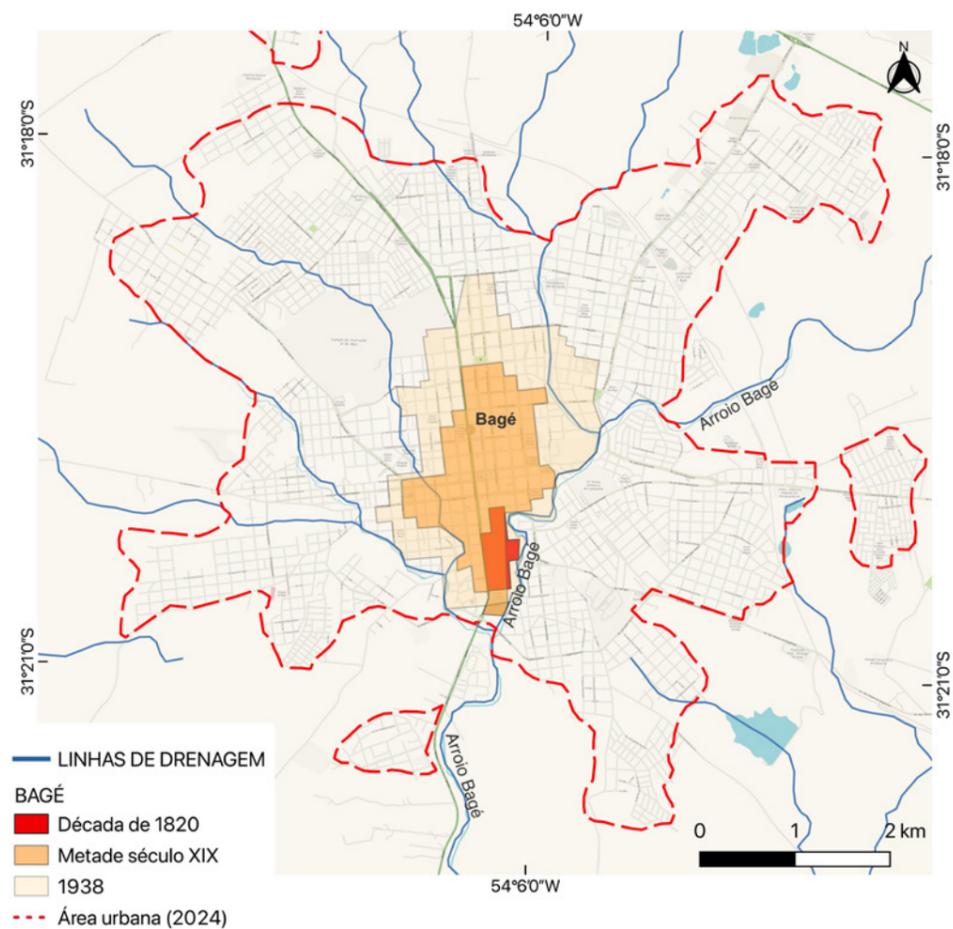
Visando entender as relações de ocorrências de inundações na área de estudo e a Bacia do Rio Negro, o DAEB (2007) declara que, como principais problemas, são relatados o déficit hídrico, a extração de materiais das margens, a falta de tratamento de efluentes provenientes das áreas urbanas, a ocupação de áreas de proteção permanentes (APPs) e a ocorrência de inundações urbanas.

A cidade de Bagé/RS tem uma forte ligação com os cursos de água, tendo em vista sua conexão intraurbana com os arroios Bagé, Gontam e Piraizinho. Para explicar como isso ocorreu, é importante destacar o crescimento da área urbana, onde o primeiro assentamento foi estabelecido em um terreno plano, às margens dos arroios Bagé e Gontam. No entanto, foi somente a partir da quarta grande expansão da cidade, por volta de 1940, que os limites urbanos ultrapassaram o Arroio Bagé, permitindo a expansão da cidade em todas as direções.

Com os argumentos aqui descritos e a caracterização da área de estudo, o próximo passo é realizar a aplicação do Modelo HAND, sua validação e reclassificação, a fim de obter o mapa de áreas suscetíveis a inundações no município de Bagé/RS.

Figura 2 - Bacia hidrográfica do Rio Negro/RS. Fonte: adaptado de Branco e Schafer (2016).

Figura 3 - Expansão urbana da cidade de Bagé/RS. Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas feitos por Neutzling (2009).



Aplicação, validação e reclassificação do Modelo HAND

A primeira etapa consiste na obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE), que servirá de base para a geração dos dados do Modelo HAND. Esse dado pode ser adquirido de diferentes maneiras, e, para este estudo, o MDE foi obtido por meio do satélite *Alos Palsar*, disponibilizado pelo *Alaska Satellite Facility*, com resolução espacial de 12,5m x 12,5m.

Com o arquivo original do MDE, foi utilizado o software QGIS para recortar a imagem (Figura 4), delimitando exclusivamente a área de interesse. No caso de Bagé, optou-se por uma área maior que a zona urbana, uma vez que possíveis discrepâncias podem ocorrer nas bordas das áreas utilizadas nas simulações do modelo HAND.

Com o arquivo MDE pronto, o próximo passo é adicioná-lo ao Hand Model (Nobre, 2018). Após adicionar o arquivo, é necessário corrigir o MDE e determinar a direção do fluxo de drenagem. Segundo MOMO *et al.* (2016), a direção do fluxo de água é definida para cada ponto da grade. O processo é controlado pela direção de escoamento superficial, utilizando o método *Deterministic Eight-Neighbors*, no qual a direção do fluxo é atribuída à célula com a maior declividade. Esse direcionamento segue a força gravitacional, de modo que a água sempre flui em direção ao ponto mais baixo.

O Hand Model executa o cálculo da grade de pontos chamada LDD (*Local Drain Direction*, ou Direção do Fluxo de Drenagem). No entanto, a correção do MDE é fundamental, pois a imagem pode apresentar sumidouros, que ocorrem quando uma célula da grade tem altitude igual ou inferior à dos oito vizinhos mais próximos. Isso pode ser causado por ruídos, incoerências ou imperfeições nos dados altimétricos. A regularização dos valores pode ser realizada de diferentes formas, com os métodos mais comuns sendo

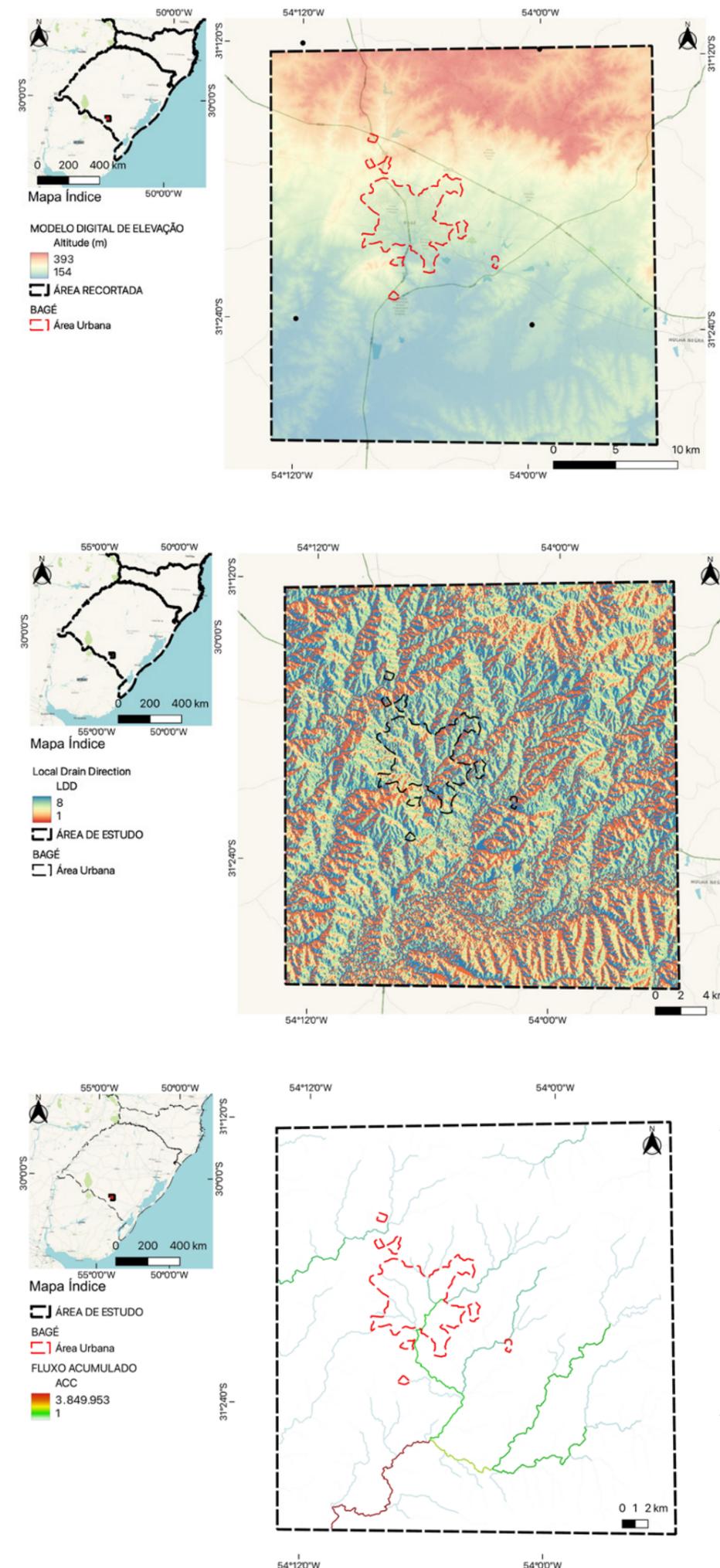
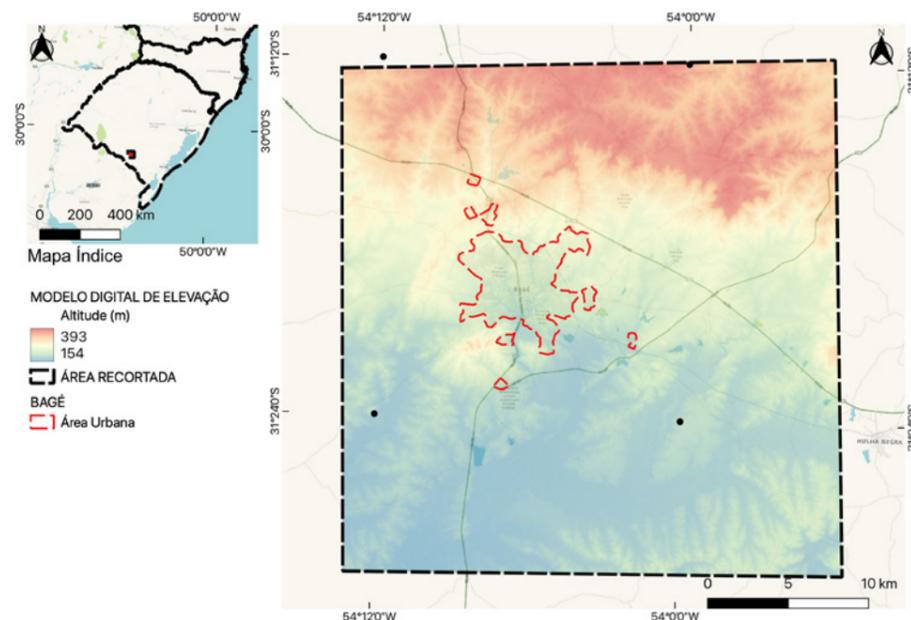


Figura 4 - Modelo digital de elevação recortado para a região de Bagé/RS. Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir do modelo digital de elevação do satélite Alos Palsar (2011). Figura 5 - Mapa de Local Drain Direction produzido a partir do Hand Model. Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir do modelo digital de elevação do satélite Alos Palsar (2011), aplicado ao programa Hand Model (Nobre, 2018). Figura 6 - Mapa de fluxo acumulado para a cidade de Bagé/RS. Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir do modelo digital de elevação do satélite Alos Palsar (2011), aplicado ao programa Hand Model (Nobre, 2018).

Figura 7 - Mapa de rede de drenagem para a cidade de Bagé/RS com limiar de 2.000 pixels. Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir do modelo digital de elevação do satélite Alos Palsar (2011), aplicado ao programa Hand Model (Nobre, 2018).



o *Fill* (preencher) ou *Breach* (cavar). O programa executa esse processo juntamente com o cálculo do LDD, resultando em um novo arquivo denominado DEMC. O mapa da direção de drenagem (LDD) gerado a partir do MDE recortado é apresentado na Figura 5.

O próximo passo é calcular e obter o mapa de fluxo acumulado (Figura 6), que é gerado a partir do mapa de direção do fluxo de drenagem, permitindo assim a construção da hidrografia sintética de referência. Para gerar a rede de drenagem da área urbana de Bagé/RS, são necessários três arquivos já obtidos: o DEMC (modelo digital de elevação corrigido), o LDD (direção do fluxo de drenagem) e o ACC (fluxo acumulado). A partir desses arquivos, calcula-se o valor acumulado de fluxo para cada célula da grade, sendo que as células com valores maiores representam áreas com maior concentração de fluxo acumulado.

É preciso definir um valor de limiar mínimo que servirá para identificar as células onde se originam os cursos d'água. Ou seja, a rede de drenagem será definida a partir das áreas de contribuição que não excedem o limiar estipulado. O valor do limiar tem um impacto direto no processo, pois quanto maior o valor do limiar, menos será a densidade da rede de drenagem, resultando na identificação apenas dos principais cursos d'água. Por outro lado, valores menores de limiar permitem um maior detalhamento da rede de drenagem (MOMO et al., 2016).

Com os mapas do MDE recortado (Figura 4), LDD (Figura 5) e da rede de drenagem (Figura 7), é possível gerar o Modelo HAND para a área de estudo. Para a pesquisa, foi selecionado o mapa de rede de drenagem utilizando o limiar de 2000px (3,80 km²).

Após gerar o mapa HAND, é necessário passar pela validação e reclassificação dos dados do mapa, para obter o mapa de áreas de inundação do município de Bagé/RS. Em busca de validar o Modelo HAND, é necessário realizar um estudo baseado em dados históricos, relatos de moradores, imagens ou trabalho de campo em pontos específicos das áreas de inundação identificadas pelo modelo.

Neste estudo, por meio de pesquisa online sobre inundações na cidade de Bagé/RS, foram encontrados vídeos e imagens que mostravam os pontos de inundação e seriam utilizados para a validação do modelo. A partir disso, foi criado um arquivo *shapefile* no QGIS, contendo pontos que demarcam as áreas de enchentes e inundações registradas na cidade. Os relatos para a identificação desses pontos foram obtidos a partir de

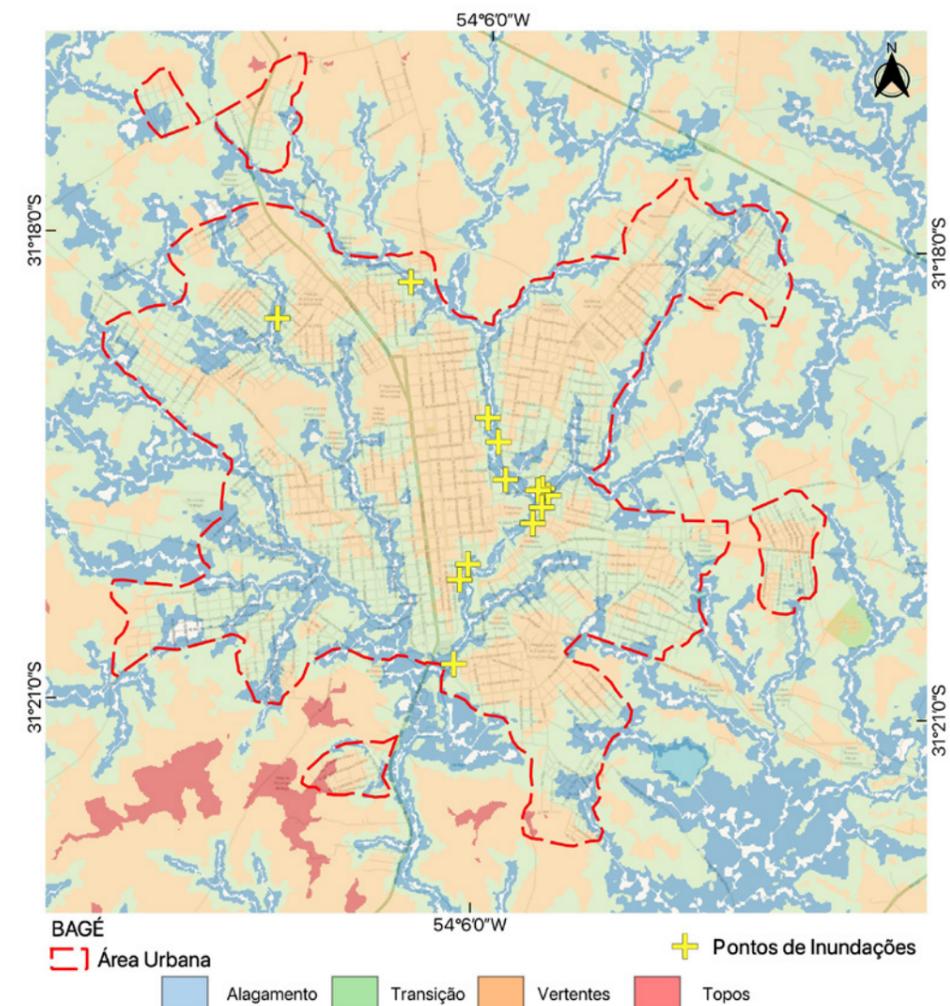


Figura 8 - Focos de inundação ocorridas na cidade de Bagé/RS. Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir do modelo digital de elevação do satélite Alos Palsar (2011), aplicado ao programa Hand Model (Nobre, 2018).

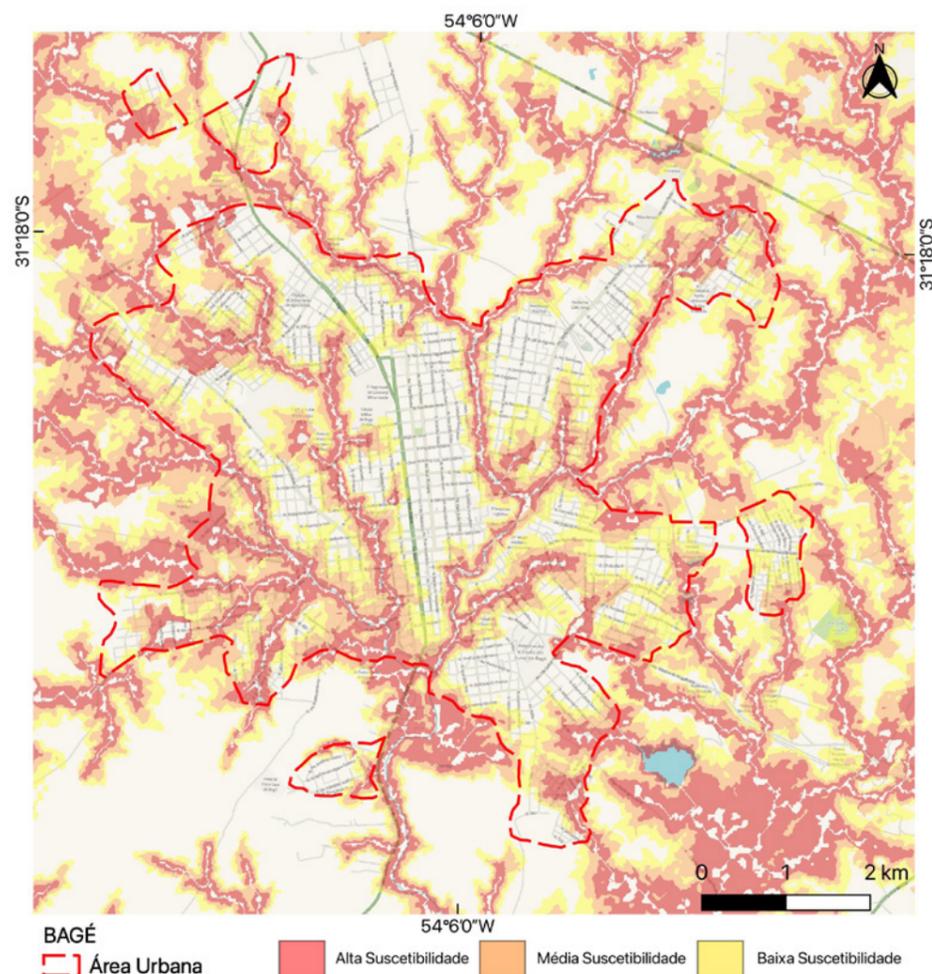
vídeos e imagens postadas por moradores do município na internet, as quais foram então localizadas como pontos no mapa da cidade (Figura 8).

No total, foram registradas 13 demarcações em diferentes locais da área urbana. VIEGAS (2009) postou um vídeo no YouTube, mostrando dois pontos de inundação. FARIAS (2009) documentou a enchente de 2009, registrando sete localidades diferentes afetadas. Já MARCOS F. (2009) gravou um vídeo da inundação atingindo uma ponte na Rua Walter Dias da Costa.

Ao inserir os dados obtidos e sobrepor o mapa de inundação com os pontos identificados em um ambiente SIG, foi possível comparar as áreas indicadas pelo modelo com os pontos de inundação reais. Essas comparações permitiram verificar as similaridades e identificar irregularidades, que foram corrigidas para completar a validação do modelo HAND.

Além da validação, foi realizada a reclassificação do mapa para definir o nível limite a ser analisado. Para isso, foi adaptada a classificação proposta por Silva et al. (2013), utilizando cinco atributos renomeados: alagamento (até 5 metros), onde o solo está perenemente saturado até a superfície; transição 01 (entre 5 e 10 metros) e transição 02 (entre 10 e 15 metros), onde contém lençol freático raso; vertentes (entre 15 e 50 metros), onde contém lençol freático profundo; e topos (acima de 50 metros), demarcando as maiores altitudes. A reclassificação foi executada no QGIS, utilizando o comando *"reclassify by table"*, onde foram atribuídos 5 valores para as 5 classes, conforme a adaptação da classificação de Silva et al. (2013): 1 (vermelho), 2 (laranja), 3 (amarelo), 4 (verde) e 5 (azul).

Figura 9 - Mapa de áreas de suscetibilidade a inundações na cidade de Bagé/RS. Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir do modelo digital de elevação do satélite Alos Palsar (2011), aplicado ao programa Hand Model (Nobre, 2018).



Assim, foi gerado o mapa de suscetibilidade a inundações da cidade de Bagé/RS (Figura 9). O mapa está dividido em três classes, delimitadas com base no mapa da Figura 8, que apresenta os focos de inundações registradas na cidade e a reclassificação adaptada de Silva *et al.*: alta suscetibilidade (em vermelho), correspondendo a área de alagamento (até 5 metros); média suscetibilidade (em laranja), correspondendo a área de transição 01 (entre 5 e 10 metros); baixa suscetibilidade (em amarelo), correspondendo a área de transição 02 (entre 10 e 15 metros).

A partir do mapa de suscetibilidade a inundações na cidade de Bagé/RS, foi possível obter os quantitativos de áreas atingidas em relação à área urbana. A análise dos quantitativos permite mensurar o impacto da área urbana nas áreas de inundações dos rios urbanos.

Utilizando os mapas georreferenciados do município, disponibilizados por Silva *et al.* (2021) e aplicados ao software QGis, conclui-se que a área urbana tem 3.645,83 hectares ou 36,45 km². Em relação às áreas de suscetibilidade de inundações, obtidas através do mapa do Modelo HAND, reclassificado e transformado de *raster* para vetor, temos os seguintes números: a área de alta suscetibilidade abrange 662,10 hectares ou 6,62 km² da área urbana, a área de média suscetibilidade abrange 765,86 hectares ou 7,65 km² e a área de baixa suscetibilidade abrange 775,53 hectares ou 7,75 km². Quando somadas todas as áreas suscetíveis à inundações, é obtido o valor de 2.203,49 hectares ou 22,03 km². A Figura 10 a seguir, mostra um gráfico resumido dos quantitativos.

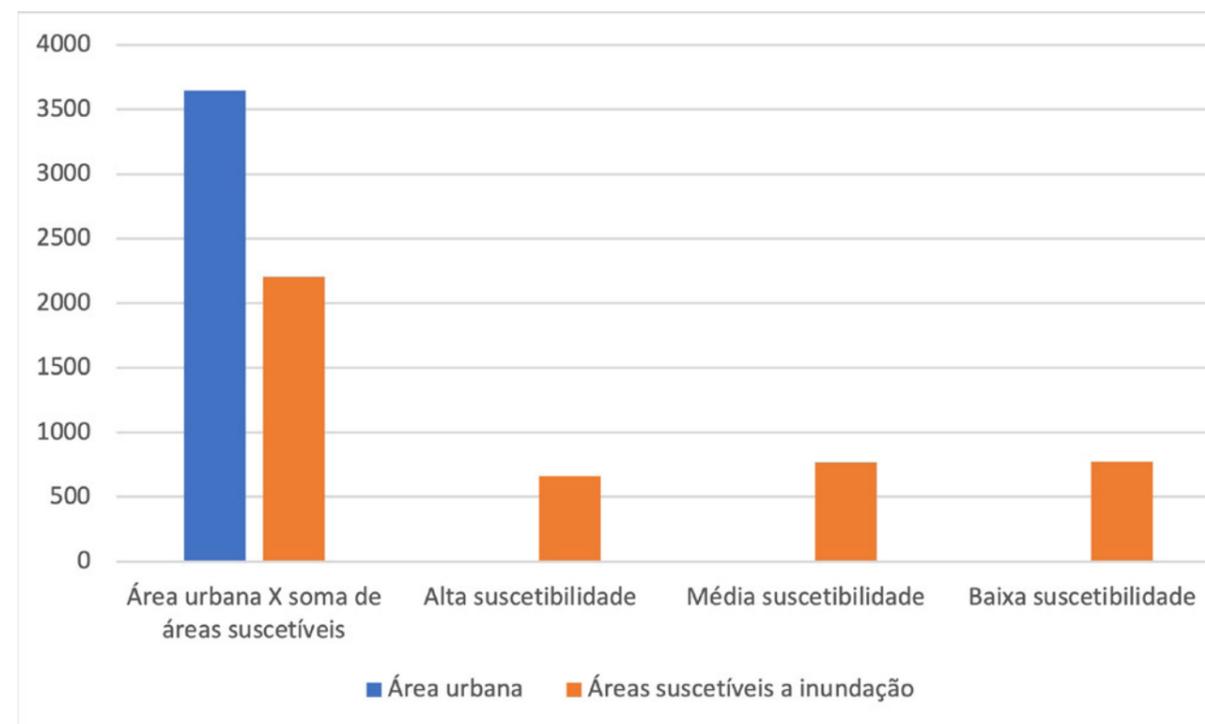


Figura 10 - Gráfico da relação entre área urbana de Bagé com as áreas suscetíveis a inundações na área urbana (em hectares). Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir do modelo digital de elevação do satélite Alos Palsar (2011), aplicado ao programa Hand Model (Nobre, 2018).

Analisando os valores apresentados, observa-se que 60,43% da área urbana de Bagé/RS é considerada vulnerável a inundações, o que representa uma parcela com mais da metade do território urbano. Esse dado reforça a ausência de um planejamento urbano estratégico, que leve em conta as características naturais da região. A urbanização de Bagé avançou sobre limites impostos pelos cursos d'água, resultando na ocupação de áreas ribeirinhas sem o devido respeito às zonas de proteção. Esse processo de expansão agravou a suscetibilidade da cidade a desastres naturais, como as inundações.

A identificação dessas áreas de risco reforça a necessidade de ações de mitigação e adaptações no planejamento territorial, destacando os resultados do Modelo HAND na identificação de zonas de risco, fornecendo subsídios técnicos para políticas públicas que priorizem a segurança e a resiliência urbana. Portanto, a adoção de diretrizes específicas para ocupação e proteção das áreas vulneráveis torna-se essencial para minimizar os impactos de futuros eventos climáticos extremos, fortalecendo a resiliência da cidade.

Considerações finais

O presente trabalho se insere em um esforço mais amplo de contribuições voltadas para a análise e fortalecimento das metas dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) propostos pela Agenda 2030. Este estudo não só propõe um avanço na avaliação das lacunas e progressos relativos ao ODS 11, que visa tornar as

idades e assentamentos humanos mais seguros e resilientes, mas também destaca a necessidade de políticas públicas inovadoras para a gestão e mitigação de riscos de desastres naturais, particularmente inundações.

Como objetivo principal, o trabalho buscou realizar o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações utilizando o Modelo HAND e para entender de que maneira as cidades estão ocupando áreas de suscetibilidade a inundações, na pretensão de avançar em direção a uma abordagem resiliente e adaptável frente às mudanças climáticas e às catástrofes naturais que podem ocorrer no futuro. No entanto, é importante ressaltar que a identificação da suscetibilidade a inundações antecede a elaboração do zoneamento de risco, pois o risco é definido pelo cruzamento entre suscetibilidade e vulnerabilidade, sendo o foco deste estudo a análise da suscetibilidade, sem abordar a vulnerabilidade.

A partir da análise quantitativa de áreas suscetíveis a inundações, na área urbana de Bagé/RS, concluiu-se que mais de 60% da área de estudo está em zonas de risco. Esse cenário reflete o impacto da expansão urbana sem planejamento urbano comprometido com as políticas públicas, para a preservação das áreas ribeirinhas e a ausência de um planejamento territorial que considere as particularidades dos cursos d'água locais. No entanto, esse percentual deve ser considerado com cautela, tendo em vista que a modelagem com o HAND foi validada com base em 13 pontos de controle, o que pode ser aumentado e atualizado. Também podem ser experimentados limiares diferentes dos que foram implementados neste trabalho, no mapa de altitudes relativas, gerada pelo modelo. Esses controles e ajustes, os quais são típicos de experimentos com modelagem e simulações, dependem de acompanhamento das inundações reais e dados cumulativos, sendo sua disponibilidade um desafio para o planejamento urbano e regional.

Apesar dessa limitação, a validação foi suficiente para reclassificar o modelo e elaborar o mapa de suscetibilidade. Observou-se que os principais focos de inundações coincidiram com as áreas de alta e média suscetibilidade, enquanto as áreas de baixa suscetibilidade apresentaram menor ocorrência de registros. Desse modo, se forem consideradas apenas as classes de alta e média suscetibilidade como as de maior relevância para o risco de inundações, a porcentagem total de áreas suscetíveis seria inferior aos 60% inicialmente apontados.

Recomenda-se que pesquisas futuras busquem agregar o máximo de dados possíveis sobre os focos de inundações, utilizando bibliografias, registros históricos, imagens, vídeos, relatos e entrevistas. Isso permitirá uma calibração mais precisa do Modelo HAND, aprimorando a identificação das áreas de maior vulnerabilidade e contribuindo para um planejamento urbano mais eficaz.

Ademais, a metodologia adotada aqui, ao utilizar tecnologias de sensoriamento remoto para mapeamento, oferece uma alternativa eficaz e acessível para municípios com recursos limitados, destacando-se o uso do Modelo HAND como ferramenta eficaz para o mapeamento das zonas vulneráveis, oferecendo uma base para ações preventivas e alinhadas com o ODS 11 da Agenda 2030. Esta abordagem contribui para o desenvolvimento sustentável ao capacitar os gestores urbanos para uma resposta mais eficaz frente aos desafios econômicos, sociais e ambientais decorrentes das mudanças climáticas, se destacando pela facilidade do uso que, quando combinado às etapas de validação e reclassificação, garante resultados consistentes e satisfatórios.

Esta pesquisa, portanto, posiciona-se como um estudo de caso que exemplifica o potencial e as limitações da implementação do ODS 11 em cidades de médio porte no Brasil, sendo um exemplo das contribuições que cidades de fronteira entre o Brasil e o Uruguai podem realizar em prol da sustentabilidade urbana e resiliência climática.

Referências

DAEB - Departamento de Água e Esgoto de Bagé. Caracterização e diagnóstico da bacia do rio Negro em Território Brasileiro-RS. Contrato nº 004/2007. Bagé, 2007.

F. Marcos. *Enchente em Bagé*. Vídeo online, Bagé, 2009. Acessado em 27 out. 2024. Online. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WMy5eOD5BS4>.

FARIAS, Vinícios. *Bagé RS Enchente 18 11 09*. Vídeo online, Bagé, 2009. Acessado em 27 out. 2024. Online. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=B5yeRMPK418>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Banco de Informações Ambientais (BDIA)*. 2019. Acessado em 02 nov. 2024. Online.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo 2022*. 2022. Acessado em 02 nov. 2024. Online. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>.

MOMO, Marcos Rodrigo; PINHEIRO, Adilson; SEVERO, Dirceu Luís; CUARTAS, Luz Adriana; NOBRE, Antonio Donato. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundações usando dados de alta resolução espacial. *RBRH*, v. 21, p. 200-208, 2016.

NOBRE, Antonio Donato. *Hand Model*. Versão 0.8.2. São José dos Campos: INPE, 2018. Acessado em 25 out. 2024. Online. Disponível em: <http://handmodel.ccst.inpe.br/>.

NOBRE, Antonio Donato; CUARTAS, Luz Adriana; HODNETT, Martin; RENNÓ, Camilo Daleles; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, André Luiz Lopes da; WATERLOO, Maarten; SALESKA, Scott. Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. *Journal Hydrology*, v. 404, n. 1-2, p.13–29, 2011.

OPOLOT, Emmanuel. Application of remote sensing and geographical information systems in flood management: A Review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, v. 6, p. 1884-1894, 2013.

RENNÓ, Camilo; NOBRE, Antonio Donato; CUARTAS, Luz Adriana; SOARES, João Viane; HODNETT, Martin; TOMASELLA, Javier; WATERLOO, Maarten. HAND, a new terrain descriptor using SRTM DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

SILVA, Wagner Fernando; MOLLERI, Gustavo Souto Fontes; PINTO, Marcio Bomfim Pereira; ARAÚJO JUNIOR, Geraldo José Lucatelli Doria de. Análise do modelo HAND para a indicação de áreas suscetíveis a eventos críticos de cheias. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. São José dos Campos: Inpe. p. 7001-7008, 2013.

SILVA, Tábatha Carvalho da. *Mapeamento das manchas de inundações para a cidade de Matias Barbosa-MG*. 2016. Monografia (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora.

SILVA, Rodrigo Rosa da; ANTORIA, Cássio Pimenta de Araújo; FERNANDES, Jenefer Rodrigues. Geobage: Spatial data from the municipality of Bagé. 2021. Acessado em 02 nov. 2024. Online. Disponível em: <https://github.com/GeolInformacao/geobage>.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; BERTON, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019)*. 2020. Acessado em 02 nov. 2024. Online. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>.

VEYRET, Yvette. *Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2007, 320 p.

VIEGAS, Jucelaine. *Enchente em Bagé: passo do Bernardo*. Vídeo online, Bagé, 2009. Acessado em 27 out. 2024. Online. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0OTMyKT5WoU>.