INTEGRAÇÃO DE BASES GEOESPACIAIS ABERTAS PARA ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO RESIDENCIAL EXPOSTA A INUNDAÇÕES EM ESCALA DE EDIFICAÇÕES

André Felipe Rocha da Silva [1]; Bjorn Krause Camilo [1] & Julian Cardoso Eleutério [2 3]

Palavras-Chave – Exposição a inundações, CNEFE, Risco hidrodinâmico.

INTRODUÇÃO

A avaliação da exposição populacional a inundações depende não apenas da delimitação das manchas de inundação, mas também da forma como a população é representada no território. Em áreas urbanas e periurbanas, a distribuição espacial da população pode variar significativamente em pequenas distâncias, em função da heterogeneidade dos usos das edificações, da presença de áreas industriais, de usos mistos, de equipamentos públicos e de diferentes padrões construtivos. Assim, estimativas baseadas apenas em setores censitários ou grades populacionais podem limitar a identificação de áreas prioritárias para redução de risco e planejamento emergencial, sobretudo quando a mancha de inundação apresenta variações expressivas de profundidade e velocidade ao longo da área afetada.

Bases populacionais e construtivas em alta resolução são fundamentais para estimar a exposição a inundações, especialmente em países em desenvolvimento, onde cadastros locais detalhados nem sempre estão disponíveis (Pittore, Wieland e Fleming, 2017; Smith *et al*., 2019). Em estudos de segurança de barragens, essa demanda também possui relevância normativa, uma vez que a Política Nacional de Segurança de Barragens, instituída pela Lei nº 12.334/2010 e atualizada pela Lei nº 14.066/2020, passou a exigir o levantamento cadastral e o mapeamento atualizado da população existente na Zona de Autossalvamento, incluindo a identificação de vulnerabilidades sociais como parte integrante dos Planos de Ação de Emergência.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma metodologia para desagregação da população residencial em alta resolução espacial, com aplicação no vale a jusante da Barragem de Ibirité, em Minas Gerais. A abordagem integra dados abertos de edificações, rede viária, pontos de interesse e grade estatística populacional, permitindo estimar a população em escala de edificação e classificá-la segundo níveis de risco hidrodinâmico.

METODOLOGIA

A metodologia foi desenvolvida a partir da integração de bases geoespaciais abertas e dados censitários. A análise considerou abrangência da mancha de inundação decorrente do rompimento hipotético de barragem no vale a jusante da Lagoa de Ibirité até a confluência do Ribeirão Sarzedo com o Rio Paraopeba, adotando-se um buffer de 500 m em relação à área de interesse para seleção e processamento das bases espaciais. Foram utilizados dados de edificações provenientes do *OpenBuildingMap*, que reúne *footprints* e atributos semânticos de construções, como tipo de ocupação, altura, número de pavimentos e área construída (Oostwegel, Schorlemmer e Guéguen, 2025), e do *GlobalBuildingAtlas*, base global aberta de polígonos, alturas e modelos tridimensionais simplificados de edificações (Zhu *et al*., 2025). Essas bases foram combinadas com a rede viária do *OpenStreetMap* e com dados populacionais da Grade Estatística do IBGE, que disponibiliza a

1) Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil.
2) Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil.
3) Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil.

população em células regulares de aproximadamente 200 m em áreas urbanas e 1 km em áreas rurais (Figura 1).

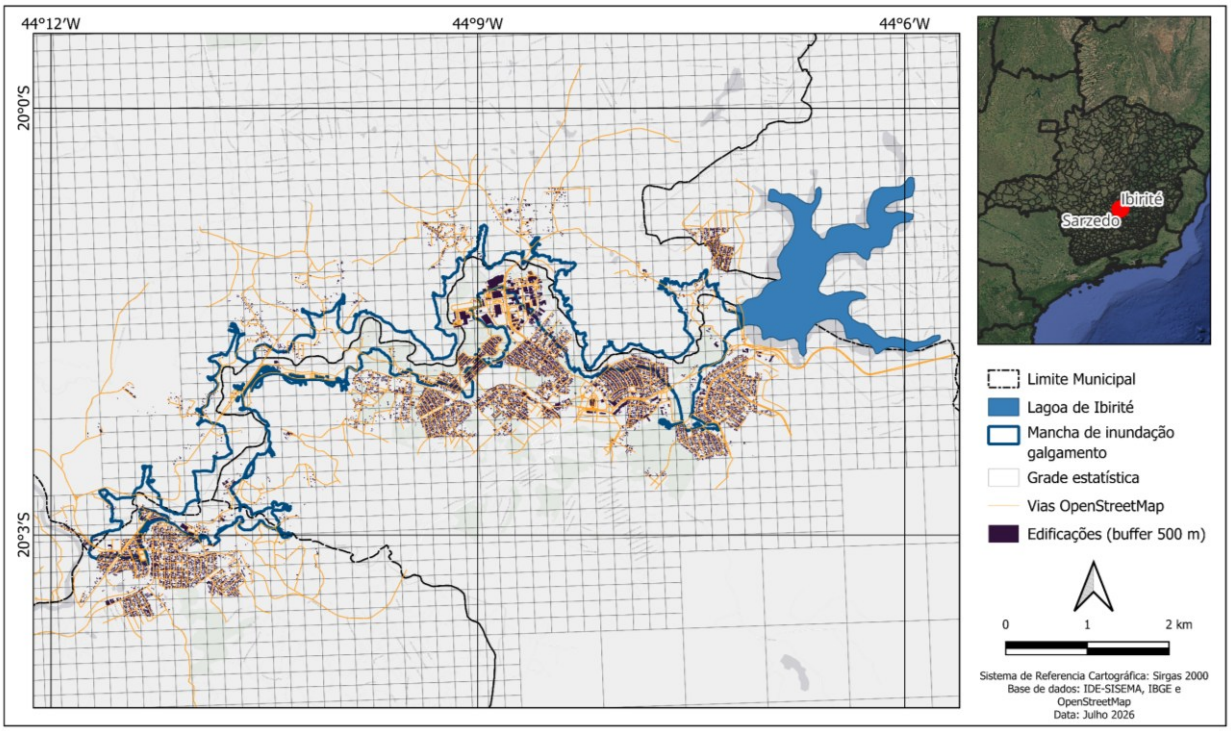


Figura 1. Mancha de inundação, edificações, vias e grade estatística na área de estudo. Fonte: autoria própria.

A população residencial foi desagregada da grade estatística para edificações individuais por meio de duas estratégias: a primeira, denominada base, distribui a população proporcionalmente aos atributos físicos das edificações, especialmente área construída e altura estimada; a segunda incorpora, além desses atributos físicos, um índice de atratividade residencial derivado de pontos de interesse do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE/IBGE).

No método baseado em pontos de interesse (POI), as categorias do CNEFE foram ponderadas por métricas de *Term Frequency–Inverse Document Frequency* (TF-IDF) e por correlação de Pearson com os totais populacionais das células censitárias (El-Khair, 2009; Zhu *et al.*, 2020). Em seguida, a influência espacial dos pontos de interesse foi propagada ao longo da rede viária, previamente segmentada em trechos de 20 m, por meio de estimativa de densidade Kernel Gaussiana em rede, conforme Okabe, Satoh e Sugihara (2009). Cada edificação foi então associada ao segmento viário mais próximo, e o índice de atratividade resultante foi combinado aos atributos físicos para definir o peso final de alocação populacional.

Após a estimativa da população por edificação, os resultados foram cruzados com os mapas hidrodinâmicos de inundação. Para cada edificação interceptada pela mancha, foram extraídos os valores máximos de profundidade, velocidade e produto entre profundidade e velocidade. Esses parâmetros foram utilizados para classificar as edificações em seis classes de risco hidrodinâmico, conforme critérios adaptados de Smith, Davey e Cox (2014). Como referência, a Classe 1 representa condições de baixa intensidade, com profundidade de até 0,3 m e produto da profundidade pela velocidade de até 0,3 m²/s, e a Classe 6 representa as situações mais críticas, associadas à profundidade superior a 4 m, velocidade superior a 4 m/s ou produto das variáveis superior a 4 m²/s. A interseção espacial entre edificações e mancha de inundação resultou em 2.119 edificações afetadas. A distribuição por classe foi de 78 edificações na Classe 1, 38 na Classe 2, 104 na Classe 3, 117 na Classe 4, 336 na Classe 5 e 1.446 na Classe 6.

RESULTADOS

A população diretamente exposta à mancha de inundação foi estimada em 3.545 pessoas no cenário base e 3.422 pessoas no cenário POI, resultando em diferença de 123 pessoas, equivalente a uma redução de aproximadamente 3,5% quando incorporados os pontos de interesse. Essa diferença indica que a inclusão de informações sobre a estrutura urbana não altera substancialmente o total de população exposta, mas permite refinar sua distribuição espacial em relação às condições hidrodinâmicas simuladas.

Em ambos os cenários, a população exposta concentrou-se principalmente nas classes mais elevadas de risco hidrodinâmico. No cenário base, a Classe 6 concentrou 2.219 pessoas, ou 62,6% da população exposta. No cenário POI, essa classe concentrou 2.092 pessoas, correspondendo a 61,1% do total exposto. Quando somadas, as Classes 5 e 6 reuniram 2.852 pessoas no cenário base e 2.696 pessoas no cenário POI, equivalentes a 80,5% e 78,8% da população exposta, respectivamente. Portanto, independentemente da estratégia de desagregação adotada, o diagnóstico principal se mantém: a maior parte da população afetada encontra-se em áreas de maior criticidade hidrodinâmica.

A comparação entre os cenários evidencia uma redistribuição moderada da população entre as classes de risco. A incorporação dos POIs reduziu a população estimada nas classes mais críticas, especialmente na Classe 6, com 127 pessoas a menos, e na Classe 5, com 29 pessoas a menos. Por outro lado, houve aumento nas classes intermediárias, principalmente nas Classes 2 e 3, com acréscimos de 36 e 28 pessoas, respectivamente. Assim, embora o total de população exposta tenha variado pouco, a distribuição entre classes de risco hidrodinâmico foi alterada, sugerindo que o método baseado em POIs desloca parte da população estimada das áreas mais severas para áreas de criticidade intermediária.

Tabela 1 – População exposta por classe de risco hidrodinâmico.

Classe	Cenário base	Cenário POI	Diferença
Classe 1	163	146	-17
Classe 2	100	136	+36
Classe 3	215	243	+28
Classe 4	215	201	-14
Classe 5	633	604	-29
Classe 6	2.219	2.092	-127
Total	3.545	3.422	-123

Os resultados indicam que a combinação de dados abertos permite estimar a população exposta em escala compatível com os resultados hidrodinâmicos. A comparação entre os cenários mostra que os pontos de interesse não alteram expressivamente o total de pessoas atingidas, mas refinam sua distribuição entre classes de criticidade. Esse refinamento é relevante para priorizar cadastros, comunicação de risco, rotas de fuga e ações emergenciais, pois considera não apenas a presença da população na mancha, mas também as condições hidrodinâmicas às quais estão submetidas.

CONCLUSÕES

A combinação de dados geoespaciais abertos, informações censitárias e pontos de interesse mostrou-se uma alternativa promissora para estimar a exposição populacional residencial em alta resolução espacial em áreas sujeitas a inundações. A aplicação ao vale a jusante da Barragem de Ibirité evidenciou que a desagregação da população para a escala de edificações permite maior compatibilidade entre dados de exposição e resultados hidrodinâmicos.

Os resultados mostram que a avaliação da exposição humana não deve se restringir ao total de pessoas inseridas na mancha de inundação. A distribuição dessa população entre classes de profundidade,

velocidade e produto profundidade × velocidade fornece informação mais útil para a gestão do risco, pois permite identificar onde a população está sujeita às condições hidráulicas mais críticas.

Como limitação, destaca-se que a abordagem considera apenas a população residencial de forma estática, sem representar trabalhadores, população flutuante, usuários de equipamentos públicos, ocupações temporárias ou variações horárias de permanência, como diferenças entre períodos diurno e noturno. Além disso, a caracterização das tipologias construtivas ainda depende da qualidade e completude das bases abertas utilizadas, podendo ser aprimorada por levantamentos de campo e cadastros locais. Trabalhos futuros devem incorporar validação das estimativas, atributos demográficos adicionais, diferentes cenários temporais de ocupação e informações cadastrais específicas, em consonância com as demandas da Política Nacional de Segurança de Barragens.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais; cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Brasília, DF: Presidência da República, 2010.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Brasília, DF: Presidência da República, 2020.

EL-KHAIR, I. A. (2009). "*Term Weighting*", in Encyclopedia of Database Systems. Org. por Liu, L. e Özsu, M. T., Springer, Boston.

OKABE, A.i; SATOH, T.; SUGIHARA, K. (2009). "*A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool*". International Journal of Geographical Information Science, v. 23, n. 1, p. 7–32.

OOSTWEGEL, L. J. N.; SCHORLEMMER, D.; GUÉGUEN, P. (2025). "*From Footprints to Functions: A Comprehensive Global and Semantic Building Footprint Dataset*". Scientific Data, v. 12, p. 1699.

PITTORE, M.; WIELAND, M.; FLEMING, K. (2017). "*Perspectives on global dynamic exposure modelling for geo-risk assessment*". Natural Hazards, v. 86, n. 1, p. 7–30.

SMITH, A.; BATES, P. D.; WING, O.; SAMPSON, C.; QUINN, N.; NEAL, J. (2019). "*New estimates of flood exposure in developing countries using high-resolution population data*". Nature Communications, v. 10, n. 1, p. 1814.

SMITH, G. P.; DAVEY, E. K.; COX, R. (2014). *Flood Hazard*. Sydney: Water Research Laboratory, University of New South Wales.

ZHU, S.; DAI, Q.; ZHAO, B.; SHAO, J. (2020). "*Assessment of Population Exposure to Urban Flood at the Building Scale*". Water, v. 12, n. 11, p. 3253.

ZHU, X. X.; CHEN, S.; ZHANG, F.; SHI, Y.; WANG, Y. (2025). "*GlobalBuildingAtlas: an open global and complete dataset of building polygons, heights and LoD1 3D models*". Earth System Science Data, v. 17, n. 12, p. 6647–666.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ANP/Petrobras pelo apoio financeiro por meio do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento AQUASMART (Nº PT-200.20.00248), à CAPES, ao CNPq e à UFMG.