

Revista
CEDEPEM

ISSN: 2763-8111

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA POLÍTICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

**PRIORIZAÇÃO ESPACIAL DO RISCO HIDROGEOMORFOLÓGICO EM RECIFE (PE):
INTEGRAÇÃO ENTRE DECLIVIDADE DO RELEVO E DENSIDADE DEMOGRÁFICA**


*Spatial Prioritization of Hydrogeomorphological Risk in Recife (PE):
Integration of Terrain Slope and Population*

Fátima Verônica Pereira Vila Nova (<https://orcid.org/0000-0002-1633-5548>) 

<http://lattes.cnpq.br/4843244556969052>

Professora do IFPE/Caruaru. Doutora em Geografia (UFPE). Coordenadora do Grupo de Pesquisa BIOMAS e da Regional Nordeste do CEDEPEM.


E-mail: fatima.pereira@caruaru.ifpe.edu.br

Alana Karen Mariano da Silva (<https://orcid.org/0009-0002-5568-6153>) 

<http://lattes.cnpq.br/3352882655744468>

Bacharel em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Acre – UFAC. Mestranda em Ciência Florestal – UFAC.

E-mail: allanna.a24@gmail.com

Daniela Szuta da Silva (<https://orcid.org/0000-0002-2702-9511>) 

<http://lattes.cnpq.br/6100913964957475>

Bacharel em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Acre – UFAC e em Gestão Ambiental pela Faculdade Interamericana de Porto Velho – UNIRON. Especialista em Saneamento e Tecnologia Ambiental pela Faculdade Interamericana de Porto Velho – UNIRON. Atualmente está cursando pós-graduação pela Universidade Federal do ABC – UFABC.

E-mail: danielaszuta@gmail.com

Bernardo da Costa Belisário (<https://orcid.org/0009-0007-7502-2748>) 

<https://lattes.cnpq.br/9448158184641850>

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

E-mail: blrs80@gmail.com




Esta obra está licenciada sob uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0.
Qualquer reprodução deste material, total ou parcial, deve citar a fonte.

Gunnar Braga Gomes Filho (<https://orcid.org/0000-0002-2993-1883>) 

<http://lattes.cnpq.br/3614453671423452>

Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Especialista em Topografia e Sensoriamento Remoto pela Faculdade dos Vales Elvira Dayrell - FAVED. Especialista em Perícia Cibernética - Faculdade Iguazú - FI. Especialista em Inteligência Policial e Segurança Pública nas Faculdades Integradas Potencial - FIP. Especialista em Enfrentamento a Crimes Ambientais e Proteção dos Povos Indígenas na Universidade Federal de Dourados – UFGD. Atualmente está cursando Especialização em Geoprocessamento pela Universidade Federal do ABC - UFABC. Investigador de Polícia Civil do Maranhão – MA.

E-mail: gunnar.filho@ufabc.edu.br

Alexandro Gularte Schäfer (<https://orcid.org/0000-0001-8700-0860>) 

<http://lattes.cnpq.br/0395790058174680>

Professor da Universidade Federal do Pampa – Unipampa. Engenheiro Civil na Universidade Federal de Rio Grande – FURG.

E-mail: alexandroschafer@unipampa.edu.br

Resumo: O estudo objetivou classificar e analisar a distribuição espacial do risco hidrogeomorfológico no município do Recife (PE), integrando declividade do relevo e densidade demográfica em nível de bairro. A metodologia adotou abordagem quantitativa exploratória com geoprocessamento e análise espacial. Utilizou-se um Modelo Digital de Elevação para derivar a declividade, dados censitários de 2022 para calcular a densidade populacional e a base vetorial de bairros como unidade de análise. Construiu-se um índice exploratório de priorização do risco hidrogeomorfológico mediante cruzamento matricial, posteriormente submetido às estatísticas de Moran Global e Local (LISA). Os resultados evidenciaram autocorrelação espacial positiva significativa ($I = 0,389$; $p < 0,001$), indicando agrupamento não aleatório do risco. A análise LISA identificou hotspots concentrados nas zonas centro-oeste e nordeste, áreas que combinaram relevo acidentado com elevada densidade populacional. Coldspots associaram-se a setores de planície com urbanização consolidada. As considerações finais apontaram que o índice exploratório demonstrou potencial para priorização territorial, subsidiando o planejamento urbano e a gestão preventiva de desastres, embora não substitua análises hidrológicas ou geotécnicas detalhadas.

Palavras-chave: Autocorrelação Espacial; Declividade; Densidade Populacional; Recife; Risco Hidrogeomorfológico.

Abstract: The study aimed to classify and analyze the spatial distribution of hydrogeomorphological risk in the municipality of Recife (Pernambuco state), integrating slope and population density at the neighborhood level. The methodology adopted an exploratory quantitative approach using geoprocessing and spatial analysis. A Digital Elevation Model was used to derive slope, 2022 census data were used to calculate population density, and the neighborhood vector base was used as the unit of analysis. An exploratory hydrogeomorphological risk prioritization index was constructed through matrix cross-tabulation and subsequently submitted to Global and Local Moran's statistics (LISA). The results revealed significant positive spatial autocorrelation ($I = 0.389$; $p < 0.001$), indicating non-random clustering of risk. The LISA analysis identified hotspots concentrated in the central-western and northeastern zones, areas that combined steep terrain with high population density. Coldspots were associated with lowland sectors characterized by consolidated urbanization. The final considerations indicated that the exploratory index

demonstrated potential for territorial prioritization, supporting urban planning and disaster prevention management, although it does not replace detailed hydrological or geotechnical analyses.

Keywords: Spatial Autocorrelation; Slope; Population Density; Recife; Hydrogeomorphological Risk.

Introdução

A intensificação de eventos associados à dinâmica da água em áreas urbanas tem se consolidado como um dos principais desafios socioambientais contemporâneos, sobretudo em cidades costeiras tropicais. Inundações, alagamentos recorrentes, processos erosivos e instabilidades de encostas vinculadas a episódios de precipitação intensa produzem impactos expressivos sobre a população, a infraestrutura urbana e os sistemas ambientais, revelando a crescente incompatibilidade entre a expansão das cidades e a capacidade de suporte do meio físico. Esse cenário tem sido amplamente associado às mudanças nos regimes pluviométricos, bem como às transformações impostas pela urbanização sobre o relevo, o solo e os sistemas naturais de drenagem (Tariq; Farooq; Van de Giesen, 2020; IPCC, 2022).

Em cidades do Sul Global, como Recife-PE, esses processos assumem caráter estrutural. A ocupação histórica de planícies fluviais e áreas estuarinas, combinada à urbanização de encostas e à elevada densidade populacional, produziu um espaço urbano marcado por fortes contrastes morfológicos e sociais (Lima et al., 2025). Nessas condições, a dinâmica do escoamento superficial é profundamente modificada: a redução das áreas de infiltração, a canalização de cursos d'água e a alteração das formas do relevo urbano redefinem os padrões de circulação da água, ampliando a recorrência e a severidade de eventos associados tanto a inundações quanto a instabilidades de vertentes (Feng; Zhang; Bourke, 2021; Öztürk et al., 2024). Trata-se, portanto, de um contexto em que processos hidrológicos e geomorfológicos deixam de atuar de forma isolada e passam a se manifestar de maneira integrada no espaço urbano.

Essa interdependência tem levado ao fortalecimento do conceito de risco hidrogeomorfológico, entendido como o resultado da interação entre processos relacionados à dinâmica da água e à resposta do relevo, cujos efeitos são potencializados pela forma como o espaço urbano é produzido e ocupado (Goerl; Kobiyama; Santos, 2012). Diferentemente de abordagens restritas à hidrologia ou à geomorfologia, essa perspectiva reconhece que inundações, erosão e movimentos de massa compartilham condicionantes comuns e frequentemente coexistem nos mesmos setores da cidade, ainda que se manifestem de maneiras distintas.

A análise desse tipo de risco exige, contudo, um cuidado conceitual fundamental. O risco não decorre exclusivamente da ocorrência de um fenômeno natural, mas da combinação entre a possibilidade de ocorrência de processos físicos potencialmente danosos, a presença de elementos suscetíveis nesses espaços e as condições que tornam esses elementos mais ou menos capazes de resistir ou responder aos impactos. Nesse sentido, a literatura contemporânea tem enfatizado a necessidade de distinguir, de forma analítica, os componentes do risco: o perigo, associado às características físicas do território que favorecem a ocorrência de determinados processos; a exposição, relacionada à distribuição espacial da população e das infraestruturas; e a vulnerabilidade, que expressa as condições sociais, econômicas e estruturais que modulam os efeitos desses processos sobre os grupos expostos (UNDRR, 2019). Embora o presente estudo dialogue com esse arcabouço conceitual, a vulnerabilidade social não é modelada de forma explícita, sendo o produto final interpretado como um índice exploratório baseado na interação entre perigo e exposição, voltado à priorização espacial de áreas críticas.

No entanto, apesar da consolidação desse arcabouço conceitual, grande parte dos estudos aplicados em escala urbana enfrenta limitações operacionais significativas. Modelos hidrológicos e hidrodinâmicos mais complexos, embora fundamentais para análises detalhadas, demandam séries históricas extensas, dados hidrometeorológicos contínuos e elevada capacidade técnica, o que restringe sua aplicação em muitos municípios brasileiros. Como consequência, gestores públicos frequentemente dispõem de informações fragmentadas ou insuficientes para orientar ações preventivas e priorizar áreas críticas de intervenção.

Nesse contexto, o uso de geotecnologias e sistemas de informações geográficas tem possibilitado o desenvolvimento de abordagens simplificadas, baseadas na integração de variáveis ambientais e socioespaciais amplamente disponíveis. Tais abordagens não substituem modelos determinísticos, mas cumprem papel estratégico ao permitir a identificação de padrões de dependência espacial e a hierarquização preliminar de áreas potencialmente problemáticas, a partir de unidades territoriais agregadas, especialmente em contextos marcados por escassez de dados e elevada vulnerabilidade socioambiental (Bruski; Tognoli; Araújo, 2020; Nascimento e Dinizio Júnior, 2025).

Apesar desse avanço, persiste uma lacuna importante relacionada à clareza conceitual e metodológica desses produtos. Em muitos casos, combinações de variáveis físicas e demográficas são diretamente denominadas como “mapas de risco”, sem explicitar quais dimensões do risco estão sendo efetivamente representadas e quais permanecem fora da análise, nem avaliar a

existência de dependência espacial entre áreas classificadas como críticas. Essa imprecisão compromete tanto a interpretação dos resultados quanto seu uso no planejamento territorial, reforçando a necessidade de abordagens que assumam explicitamente seu caráter exploratório e suas limitações analíticas.

É a partir dessa lacuna que se insere o presente estudo. Parte-se do entendimento de que a declividade do relevo constitui um elemento central na caracterização do perigo hidrogeomorfológico, ao influenciar diretamente o comportamento do escoamento superficial e a estabilidade das vertentes, enquanto a densidade populacional expressa a distribuição espacial da exposição humana aos processos associados à dinâmica da água. A integração dessas variáveis, quando conduzida de forma transparente e conceitualmente fundamentada, permite construir um índice exploratório de priorização, voltado à identificação de áreas que demandam maior atenção no âmbito da gestão urbana e da prevenção de desastres.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo classificar e analisar a distribuição espacial do risco hidrogeomorfológico no município do Recife-PE, a partir da integração entre a declividade do relevo, enquanto expressão da suscetibilidade natural do terreno, e a densidade populacional, como indicador de exposição humana, em nível de bairro. Busca-se, adicionalmente, identificar padrões de autocorrelação espacial do índice exploratório de risco, por meio da aplicação das estatísticas de Moran Global e Local (LISA), de modo a reconhecer áreas de concentração espacial de alto e baixo risco, subsidiando a priorização territorial no planejamento urbano e na gestão de riscos.

Caracterização da Área de Estudo

O município do Recife, capital do estado de Pernambuco, localiza-se na Região Metropolitana do Recife (RMR), litoral leste do Nordeste brasileiro. A cidade ocupa uma área territorial de aproximadamente 218,50 km² e possui população estimada de 1.637.834 habitantes, com densidade demográfica de 7.039,64 hab./km² (IBGE, 2022). A posição geográfica do Recife coincide com uma das zonas de separação entre os continentes sul-americano e africano, o que conferiu à área uma história geológica complexa, marcada por intensos processos morfoclimáticos ao longo do período Quaternário (CPRM, 2014).

Do ponto de vista geomorfológico, o território recifense caracteriza-se por um forte contraste entre áreas planas costeiras e estuarinas e setores de relevo mais elevado, constituídos por colinas e

morros (Galvão, 2014). As planícies flúvio-marinhas e as restingas, como a do bairro do Recife Antigo, formaram-se a partir da dinâmica de sedimentos transportados por agentes fluviais e marinhos, em contexto de baixa declividade e plataforma continental rasa (CPRM, 2014). Já as áreas de maior altitude estão associadas principalmente aos sedimentos da Formação Barreiras e a depósitos de solos eluviais originários de rochas ígneas plutônicas e vulcânicas (Villa Verde; Santos, 2019). A geologia local é bastante diversificada, com ocorrência de rochas plutônicas, vulcânicas e sedimentares das Bacias Pernambuco e Paraíba, sendo os sedimentos predominantemente arenosos e, portanto, mais suscetíveis aos processos erosivos (CPRM, 2014). Essa diversidade litológica, combinada à presença de camadas argilosas intercaladas com camadas arenosas, que criam superfícies potenciais de deslizamento, confere ao município uma suscetibilidade natural a movimentos de massa e processos erosivos (Villa Verde; Santos, 2019).

A urbanização do Recife ocorreu de forma histórica sobre as planícies fluviais, áreas estuarinas e encostas, produzindo um espaço urbano marcado por fortes contrastes morfológicos e sociais (Lima et al., 2025). A ocupação dos morros e encostas deu-se de maneira acelerada e, em grande medida, desordenada, frequentemente com limitada infraestrutura urbana e intervenções inadequadas no terreno (Galvão, 2014). A cidade apresenta elevada densidade populacional, com 38,1% da população tendo renda per capita mínima de meio salário mínimo, o que reflete as desigualdades socioeconômicas que agravam a vulnerabilidade aos riscos ambientais (IBGE, 2022). Do ponto de vista hidrológico, o Recife é cortado por importantes bacias hidrográficas, como as dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejipió, que drenam a Região Metropolitana (CPRH, 2020). Esses corpos d'água, somados ao regime pluviométrico tropical, com quadra chuvosa concentrada entre os meses de abril e julho, historicamente deflagram eventos de inundação e alagamento, como os grandes desastres de 1966, 1975 e, mais recentemente, em 2022, quando mais de 130 mortes foram registradas na região metropolitana (Araújo et al., 2025). A combinação entre a suscetibilidade natural do terreno, a ocupação desordenada de encostas e fundos de vale e as mudanças nos regimes pluviométricos torna o Recife um dos municípios brasileiros mais expostos a riscos hidrogeomorfológicos, posicionando-se em 5º lugar no ranking nacional de população residente em áreas de risco, segundo o IBGE (2018).

Método

O estudo adotou uma abordagem quantitativa de natureza exploratória, fundamentada em técnicas de geoprocessamento e análise espacial aplicadas a dados secundários de acesso aberto. A estratégia metodológica consistiu na construção de um índice exploratório de priorização do risco

hidrogeomorfológico, obtido a partir da integração entre variáveis representativas do perigo (declividade do relevo) e da exposição (densidade demográfica), seguida da avaliação da dependência espacial desse índice por meio de estatísticas de autocorrelação espacial global e local. O recorte espacial correspondeu ao município do Recife–PE, considerando os bairros administrativos como unidade de análise. Essa escolha mostrou-se compatível com a escala do planejamento urbano, com a organização territorial adotada pelo poder público municipal e com a disponibilidade de dados populacionais oficiais.

Base de dados e pré-processamento

Foram utilizados três conjuntos principais de dados geoespaciais. O primeiro correspondeu ao Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido a partir do portal OpenTopography, empregado para a derivação da declividade do relevo. O segundo consistiu na base vetorial dos bairros do Recife, disponibilizada pela Prefeitura do Recife, utilizada como unidade territorial de análise. O terceiro conjunto foi composto pelos dados populacionais do Censo Demográfico de 2022, produzidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A declividade foi calculada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizando ferramentas de análise de terreno no QGIS. Posteriormente, o raster de declividade foi reclassificado em seis classes de declividade. Em seguida, foi realizada a sobreposição espacial entre o raster classificado e os limites dos bairros do município do Recife. Para cada bairro foi calculado o percentual de área correspondente a cada classe de declividade, permitindo identificar a classe predominante (moda espacial), utilizada como síntese representativa do relevo na unidade espacial analisada. A declividade derivada do raster foi agregada às unidades espaciais dos bairros mediante o cálculo da proporção da área ocupada por cada classe de declividade no interior de cada polígono correspondente aos bairros. Todos os dados foram reprojatados para o sistema de referência geodésico SIRGAS 2000. As geometrias da base vetorial foram verificadas e corrigidas quanto a eventuais inconsistências topológicas. As etapas de processamento espacial, integração dos dados e análise estatística foram realizadas nos softwares QGIS e R (RStudio), com o auxílio de pacotes especializados em geoprocessamento e estatística espacial.

Caracterização do perigo hidrogeomorfológico: declividade do relevo

A declividade do relevo foi utilizada como indicador do perigo hidrogeomorfológico, por sua influência direta sobre o comportamento do escoamento superficial, os processos erosivos e a

estabilidade das vertentes em ambiente urbano. Os valores de declividade foram classificados em intervalos percentuais, conforme a proposta da Embrapa, amplamente empregada em estudos geomorfológicos no Brasil.

As classes consideradas foram: relevo plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte ondulado (20-45%), montanhoso (45-75%) e escarpado (75-100%). Essa classificação expressa um gradiente crescente de energia potencial do relevo e de suscetibilidade a processos hidrogeomorfológicos, permitindo distinguir áreas predominantemente associadas a alagamentos daquelas mais propensas a processos erosivos e instabilidades de encostas.

Caracterização da exposição: densidade demográfica

A densidade demográfica foi adotada como variável representativa da exposição humana aos processos hidrogeomorfológicos. Essa variável foi calculada a partir da razão entre a população residente e a área territorial de cada bairro, sendo expressa em habitantes por quilômetro quadrado (hab/km²), com base nos dados do Censo Demográfico de 2022.

Os valores de densidade populacional foram organizados em cinco classes: muito baixa (≤ 15 hab/km²), baixa (16-50 hab/km²), média (51-150 hab/km²), alta (151-350 hab/km²) e muito alta (> 350 hab/km²). A definição desses intervalos foi realizada a partir de uma adaptação de classificações utilizadas em estudos de demografia e planejamento territorial, que empregam a densidade populacional como indicador do grau de concentração urbana e da intensidade de ocupação do território. Em especial, organismos internacionais e estudos demográficos utilizam limiares de densidade para diferenciar padrões de ocupação, como o critério de 150 hab/km² adotado pela OCDE (2012), para caracterização de áreas urbanas. Assim, os intervalos utilizados neste estudo foram ajustados à escala intraurbana do município analisado, permitindo representar gradientes de concentração populacional e facilitar a interpretação espacial da exposição da população aos processos hidrológicos associados à dinâmica do relevo urbano.

Construção do índice exploratório de priorização do risco hidrogeomorfológico

O índice exploratório de priorização do risco hidrogeomorfológico foi construído por meio do cruzamento matricial entre as classes de declividade do relevo (perigo) e as classes de densidade demográfica (exposição), considerando como unidade de análise os bairros administrativos. Cada bairro foi associado a uma combinação específica entre classe de declividade e classe de densidade populacional.

A partir dessa matriz de cruzamento, foi atribuída a cada combinação uma classe ordinal de priorização do risco hidrogeomorfológico, variando de muito baixo a muito alto. A atribuição dos níveis de priorização baseou-se no comportamento físico esperado dos processos hidrogeomorfológicos sob diferentes condições de relevo e ocupação urbana, conforme sintetizado na matriz de decisão adotada no estudo.

Em áreas de relevo plano e suavemente ondulado (0-8%), a elevação da densidade populacional foi interpretada como fator determinante para o aumento do risco associado a inundações, alagamentos e sobrecarga dos sistemas de drenagem, em função da baixa declividade, da impermeabilização do solo e da concentração de fluxos superficiais. Nessas condições, bairros com densidade populacional alta e muito alta foram classificados nos níveis alto e muito alto de priorização.

Em áreas de relevo ondulado a fortemente ondulado (8-45%), as combinações com densidade populacional média a muito alta foram associadas a níveis elevados de priorização, refletindo a intensificação da energia do escoamento superficial, o aumento do potencial erosivo e a ocupação urbana de encostas. Nesses setores, o risco hidrogeomorfológico foi interpretado como resultante da atuação conjunta de processos de escoamento concentrado, erosão e instabilidades de vertentes.

Nos setores montanhosos e escarpados (declividades superiores a 45%), mesmo combinações com densidade populacional baixa ou média foram classificadas em níveis elevados de priorização, considerando a elevada suscetibilidade natural do terreno a movimentos de massa. A presença de densidade populacional alta ou muito alta nesses contextos resultou na atribuição do nível máximo de priorização, refletindo a convergência entre perigo físico extremo e elevada exposição humana.

Combinações envolvendo densidade populacional muito baixa e baixa, independentemente da classe de declividade, foram associadas a níveis inferiores de priorização, considerando a menor probabilidade de impactos diretos sobre a população, ainda que processos físicos possam ocorrer. O Quadro 1 apresenta a matriz de cruzamento entre as classes de declividade do relevo e as classes de densidade populacional utilizadas na classificação do risco hidrogeomorfológico.

Quadro 1

Matriz de cruzamento entre classes de declividade e densidade

Declividade / Densidade Populacional	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Plana (0-3%)	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Suave ondulada (3-8%)	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Ondulada (8-20%)	Baixo	Médio	Médio	Alto	Muito Alto
Forte ondulada (20-45%)	Médio	Médio	Alto	Muito Alto	Muito Alto
Montanhosa (45-75%)	Médio	Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto
Escarpada (75-100%)	Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

O produto resultante consistiu em um índice exploratório de priorização espacial do risco hidrogeomorfológico, estruturado em cinco classes ordinais e construído exclusivamente a partir da interação entre características físicas do relevo e a distribuição espacial da população. O índice não configurou uma modelagem completa de risco, uma vez que não incorporou explicitamente dimensões sociais, econômicas ou institucionais da vulnerabilidade, sendo empregado como base para a análise subsequente da organização espacial do risco no município.

Análise da dependência espacial do índice

Com o objetivo de avaliar se a distribuição espacial do índice de risco hidrogeomorfológico apresentou padrão não aleatório, foi aplicada a estatística de autocorrelação espacial global de Moran (Moran's I). Para essa análise, foi construída uma matriz de vizinhança espacial baseada em contiguidade do tipo Queen entre os bairros, considerando a interação entre unidades que compartilham fronteiras ou vértices.

A significância estatística do índice global foi avaliada por meio de testes de permutação aleatória. Em seguida, realizou-se a análise local de autocorrelação espacial por meio dos Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA), permitindo identificar agrupamentos de bairros com valores elevados do índice (hotspots), agrupamentos de valores baixos (coldspots) e áreas sem associação espacial significativa.

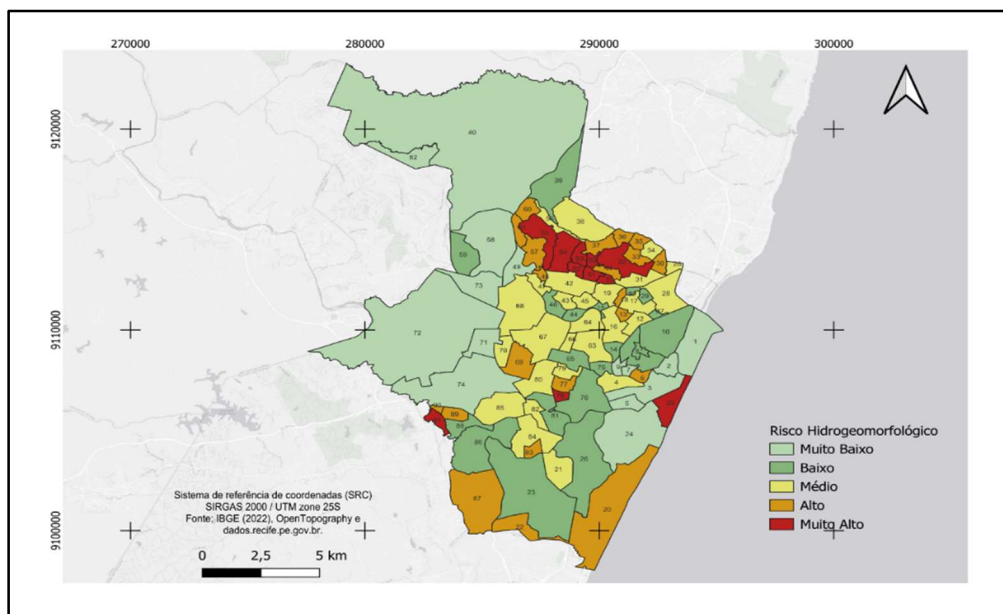
Os resultados da análise local foram representados cartograficamente e complementados por análises descritivas da distribuição do índice entre as categorias LISA, possibilitando a interpretação da estrutura espacial do risco hidrogeomorfológico e a identificação de núcleos territoriais prioritários. Essa abordagem mostrou-se adequada para dados agregados por unidades administrativas, oferecendo um instrumento exploratório de apoio ao planejamento urbano e à gestão do risco hidrogeomorfológico em contextos urbanos marcados por limitações de dados e elevada vulnerabilidade socioambiental.

Discussão

A análise espacial do índice exploratório de priorização do risco hidrogeomorfológico no município do Recife evidencia uma distribuição espacial marcadamente desigual, refletindo a heterogeneidade morfológica e socioespacial da cidade. A classificação por bairros (Figura 1) indica que áreas localizadas na faixa litorânea, em setores centrais e em porções da zona norte concentram os níveis mais elevados do índice (classes 4 e 5), enquanto setores com menor adensamento populacional e relevo predominantemente plano ou suavemente ondulado apresentam valores mais baixos (classes 1 e 2). O Quadro 1 sintetiza os bairros enquadrados nos níveis Muito Alto do índice exploratório de priorização.

Figura 1

Índice exploratório de priorização do risco hidrogeomorfológico no município do Recife-PE



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Quadro 1

Bairros enquadrados nos níveis Muito Alto do Índice exploratório de priorização do risco hidrogeomorfológico no município do Recife-PE

Nome dos bairros	Número no mapa
Coqueiral	91
Mangabeira	50
Mangueira	78
Alto Jose Bonifacio	53
Morro Da Conceição	52
Brasília Teimosa	25
Vasco Da Gama	54
Alto Jose Do Pinho	51
Alto Santa Terezinha	93
Nova Descoberta	55
Água Fria	32

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Essa configuração espacial expressa a interação entre perigo hidrogeomorfológico, representado pela declividade do relevo, e exposição, expressa pela densidade demográfica. A identificação dos bairros com risco hidrogeomorfológico muito alto encontra respaldo substancial na literatura técnica e nos registros históricos de desastres do Recife. O Plano de Contingência 2025 da Secretaria Executiva de Defesa Civil do Recife (SEDEC) lista nominalmente 12 bairros com a maior concentração de pontos de risco de queda de barreira, dentre os quais figuram Alto José Bonifácio, Água Fria, Vasco da Gama e Nova Descoberta, todos presentes na classificação de risco muito alto aqui obtida (Política com Opinião, 2025). A tragédia das chuvas de maio e junho de 2022, que vitimou 134 pessoas e é considerada o maior desastre do século XXI em Pernambuco, evidenciou a vulnerabilidade dessas áreas, especialmente na Zona Norte, onde mais de 50% dos óbitos foram causados por movimentos de massa em encostas (Araújo et al., 2025). Estudo do Instituto Pólis corroborou que o Recife está entre as três capitais brasileiras que mais expõem populações de baixa renda e negras a riscos de deslizamentos e inundações, concentrando 677 áreas com risco geológico onde a renda média domiciliar é inferior à metade da média municipal (PE Notícias, 2025).

Os registros de ocorrências e as ações do poder público confirmam o padrão espacial identificado. No bairro do Vasco da Gama, deslizamentos de barreira foram documentados em 2011, 2013 e, mais recentemente, em agosto de 2022, quando uma residência foi parcialmente destruída (JC Online, 2013; Folha de Pernambuco, 2022). Em Nova Descoberta, moradores relatam deslizamentos desde as fortes chuvas de 2022, com famílias desalojadas e vivendo em situação de insegurança em encostas não estabilizadas (Diário de Pernambuco, 2024). A Prefeitura do Recife, por meio do Programa Parceria, vem realizando intervenções de contenção em alvenaria armada e aplicação de geomanta no bairro, com investimentos que ultrapassaram 5 mil obras concluídas até 2026 (Tamandaré Web, 2026; Prefeitura do Recife, 2025). A persistência de requerimentos legislativos em 2025 solicitando estudos técnicos para contenção de barreiras em Nova Descoberta demonstra, contudo, que a demanda por segurança ainda não foi plenamente atendida (Câmara Municipal do Recife, 2025). Essa combinação entre alta densidade populacional, ocupação consolidada de encostas e recorrência documentada de deslizamentos valida a classificação de risco muito alto atribuída a esses bairros pela metodologia aqui empregada.

Em áreas densamente ocupadas, mesmo variações moderadas da declividade contribuem para intensificar processos de escoamento superficial, erosão e sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana. Em setores de encostas urbanizadas, por sua vez, a combinação entre declividades mais acentuadas e alta concentração populacional eleva o potencial de ocorrência de processos erosivos e instabilidades de vertentes, configurando áreas prioritárias do ponto de vista da gestão territorial.

Embora a declividade do relevo constitua um indicador relevante para a identificação preliminar de áreas suscetíveis a processos hidrogeomorfológicos, sua utilização isolada representa uma simplificação das dinâmicas físicas envolvidas. Processos como inundações urbanas, movimentos de massa e erosão superficial resultam da interação entre múltiplos fatores, incluindo características da drenagem natural, altitude relativa, proximidade de cursos d'água, impermeabilização do solo e histórico de ocupação antrópica. Em cidades costeiras densamente urbanizadas como Recife, a vulnerabilidade aos processos hidrológicos está associada não apenas ao relevo, mas também à combinação entre condições geológicas, ocupação urbana e infraestrutura de drenagem. Estudos desenvolvidos na Região Metropolitana do Recife indicam que a suscetibilidade a inundações e instabilidades de encostas resulta da interação entre fatores geomorfológicos, características do uso e ocupação do solo e a dinâmica hidrometeorológica regional. A presença de extensas planícies estuarinas sujeitas a inundações periódicas, associada à ocupação progressiva de colinas e morros sedimentares, contribui para a formação de cenários

complexos de risco hidrogeomorfológico na cidade. Pesquisas recentes voltadas ao mapeamento de áreas suscetíveis a inundações e à análise de processos hidrogeomorfológicos urbanos apontam que a combinação entre relevo, impermeabilização do solo e adensamento populacional exerce papel central na distribuição espacial desses riscos (Goerl; Kobiyama; Santos, 2012, Lima et al., 2025).

Nesse contexto, a aplicação de indicadores espaciais e índices sintéticos tem sido empregada como estratégia metodológica para identificar padrões territoriais de exposição e suscetibilidade, funcionando como etapa inicial de diagnóstico territorial e apoio à priorização de áreas para investigações mais detalhadas sobre instabilidade de encostas e eventos hidrológicos extremos (Guzzetti et al., 2012; Bruski; Tognoli; Araújo, 2020).

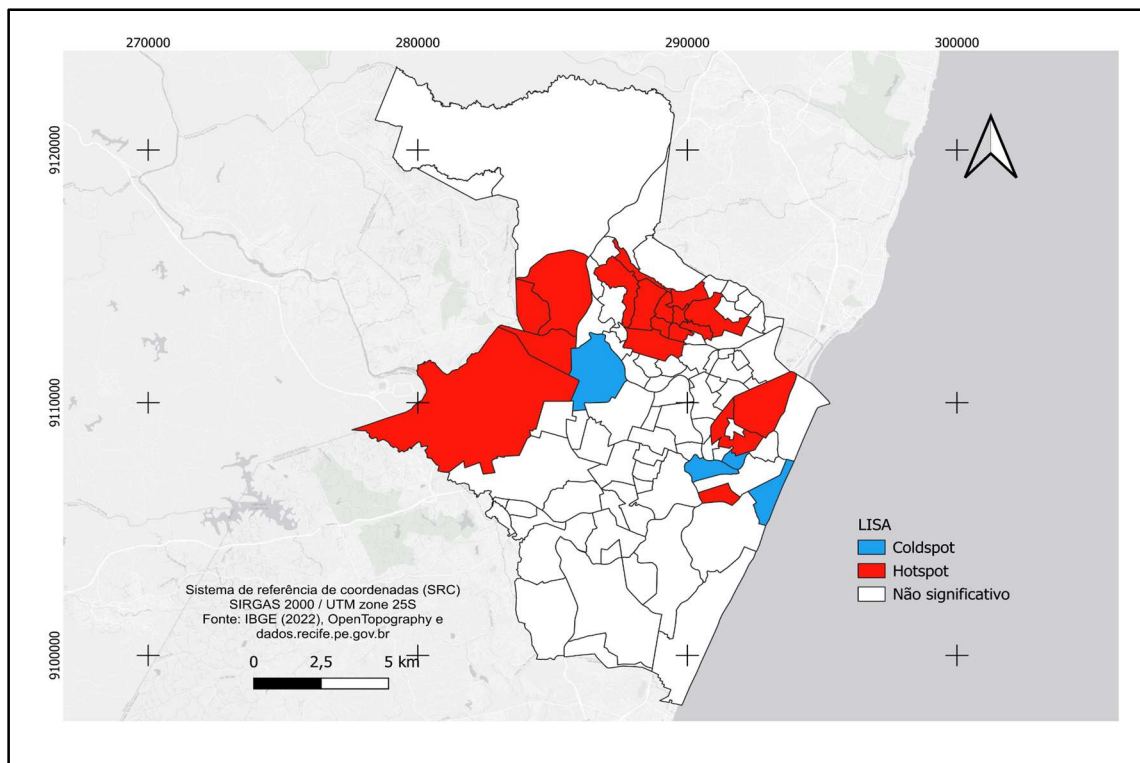
A aplicação do Índice de Moran Global resultou em valor positivo e estatisticamente significativo ($I = 0,389$; $p < 0,001$), evidenciando a existência de autocorrelação espacial positiva. Esse resultado indica que bairros com valores elevados do índice tendem a estar espacialmente próximos entre si, assim como bairros com valores reduzidos, afastando a hipótese de uma distribuição aleatória do risco hidrogeomorfológico no território municipal. Resultados semelhantes têm sido reportados em estudos recentes que empregam estatísticas de autocorrelação espacial para identificar padrões de concentração de riscos e vulnerabilidades em ambientes urbanos complexos (Lapietra; García-Pereiro, 2025).

A análise local de autocorrelação espacial (LISA) aprofunda essa interpretação ao revelar a existência de hotspots espacialmente consistentes (Figura 2). Esses agrupamentos de altos valores do índice concentram-se principalmente em setores da zona norte e centro-oeste do Recife, abrangendo áreas de morros e bairros caracterizados por elevada densidade populacional e condições geomorfológicas desfavoráveis. Tais áreas configuram núcleos prioritários de atenção, uma vez que combinam perigo e exposição de forma espacialmente persistente.

Em contraste, os coldspots identificados correspondem a agrupamentos de baixos valores do índice, distribuídos de maneira mais pontual, sobretudo em áreas onde o relevo é plano e a ocupação urbana apresenta maior grau de consolidação. Esses setores refletem contextos em que a interação entre declividade e densidade populacional resulta em menor pressão hidrogeomorfológica relativa. As áreas classificadas como não significativas indicam transições espaciais e heterogeneidade intraurbana, evidenciando que o risco hidrogeomorfológico não se distribui de forma homogênea mesmo dentro de uma mesma região da cidade.

Figura 2

Mapa da análise local de autocorrelação espacial (LISA) do índice exploratório de risco hidrogeomorfológico no município do Recife-PE.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A análise descritiva da distribuição dos valores do índice por categoria LISA reforça a consistência dos padrões identificados. Os bairros classificados como hotspots apresentam medianas e médias significativamente mais elevadas do índice, com valores concentrados em torno de 3,3 a 3,5, enquanto os coldspots exibem menor dispersão e valores sistematicamente inferiores. Esse comportamento confirma que os agrupamentos espaciais detectados não são artefatos estatísticos, mas refletem diferenças estruturais na combinação entre declividade do relevo e densidade populacional.

A formação desses hotspots pode ser interpretada à luz da configuração geomorfológica e da dinâmica histórica de ocupação do Recife. A cidade apresenta forte contraste entre áreas planas costeiras e estuarinas e setores de relevo mais elevado formados por morros e colinas associados principalmente aos sedimentos da Formação Barreiras. Nessas áreas de encosta, a ocupação urbana ocorreu de forma acelerada ao longo do processo de expansão da cidade, frequentemente com limitada infraestrutura urbana e intervenções inadequadas no terreno. Esse padrão de ocupação

contribui para aumentar a suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa, especialmente em contextos de elevada pluviosidade. Estudos realizados na Região Metropolitana do Recife indicam que a combinação entre declividade do relevo, características geológicas e ocupação antrópica das encostas constitui um dos principais fatores associados à ocorrência de erosão urbana e escorregamentos em áreas densamente urbanizadas (Galvão, 2014; Villa Verde; Santos, 2019). Dessa forma, os agrupamentos espaciais identificados neste estudo podem refletir tanto condicionantes geomorfológicos quanto processos históricos de urbanização que levaram à ocupação de áreas ambientalmente mais frágeis. Além disso, em cidades tropicais densamente urbanizadas, a combinação entre impermeabilização do solo, alterações na drenagem natural e ocupação de áreas declivosas tende a intensificar processos hidrogeomorfológicos, como escoamento superficial concentrado, erosão e instabilidade de vertentes. Nesse contexto, os agrupamentos espaciais identificados neste estudo provavelmente refletem não apenas padrões geomorfológicos, mas também trajetórias históricas de urbanização e desigualdade socioespacial que condicionam a distribuição dos riscos ambientais urbanos (Alcántara-Ayala, 2002; UNDRR, 2019).

Cabe ressaltar, ainda, que a declividade do relevo, embora adequada para a caracterização do perigo em áreas de encosta, constitui um indicador indireto para os processos que afetam as porções planas do município. Nestes setores, a ocorrência de alagamentos e inundações está mais diretamente condicionada à proximidade de cursos d'água, às cotas altimétricas, à densidade da drenagem natural e à eficiência do sistema de micro e macrodrenagem urbana. Assim, recomenda-se que estudos futuros, voltados ao aprofundamento da análise em áreas de baixa declividade classificadas como hotspots, incorporem variáveis complementares como distância de canais, densidade de drenagem e altitude, permitindo uma caracterização mais refinada da dinâmica hidrológica e do perigo associado nesses contextos específicos.

As técnicas de autocorrelação espacial, quando aplicadas a dados agregados por unidades administrativas, mostram-se úteis para a identificação de padrões espaciais relevantes ao planejamento urbano, conforme demonstrado neste estudo. Ao invés de buscar a previsão direta de eventos específicos, a abordagem adotada permite reconhecer áreas de priorização, nas quais a interação entre características físicas do território e a exposição populacional tende a intensificar os efeitos de processos associados à dinâmica da água e do relevo urbano.

Outro aspecto metodológico relevante refere-se à escolha do bairro como unidade espacial de análise. Embora essa escala seja amplamente utilizada em estudos urbanos devido à sua compatibilidade com instrumentos de planejamento e à disponibilidade de dados estatísticos, sua utilização implica um desafio clássico da análise espacial: o problema da unidade de área modificável (*Modifiable Areal Unit Problem – MAUP*), fenômeno que ocorre quando os resultados estatísticos variam em função da escala ou da forma de agregação territorial adotada, podendo gerar distorções na interpretação de padrões espaciais. A literatura demonstra que mudanças na delimitação das unidades espaciais podem alterar significativamente correlações, padrões de distribuição e resultados de modelos espaciais, evidenciando a sensibilidade das análises à escolha da unidade territorial (Chen et al., 2022; Sipulova et al., 2025).

Em contextos urbanos complexos, como o do Recife, caracterizados por elevada heterogeneidade intraurbana, é o caso, por exemplo, de bairros como Casa Amarela e Madalena, que reúnem simultaneamente áreas planas suscetíveis a alagamentos e setores de encosta associados a movimentos de massa (Galvão, 2014; Villa Verde; Santos, 2019). Nessas unidades territoriais, a adoção de um valor sintético (a classe modal de declividade) pode subestimar a complexidade dos processos hidrogeomorfológicos atuantes, uma vez que distintas dinâmicas de perigo coexistem no interior de um mesmo polígono de análise. Ainda assim, a adoção do bairro como unidade de análise permite estabelecer uma interface direta com a gestão pública municipal, uma vez que políticas de planejamento urbano, defesa civil e infraestrutura frequentemente utilizam essa divisão territorial para a implementação de ações de mitigação de riscos.

Nesse sentido, a combinação entre declividade do relevo, densidade demográfica e análise de dependência espacial configura uma ferramenta analítica exploratória capaz de subsidiar ações de gestão territorial e prevenção de desastres em contextos urbanos complexos. Conforme destacado por Lapietra e García-Pereiro (2025), a identificação de padrões espaciais persistentes de risco constitui etapa fundamental para a formulação de políticas públicas orientadas à redução de vulnerabilidades e ao fortalecimento da resiliência urbana, especialmente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela urbanização acelerada.

A identificação de áreas prioritárias para gestão do risco hidrogeomorfológico tem incorporado, com crescente frequência, estratégias analíticas baseadas na construção de indicadores espaciais derivados da integração entre variáveis físicas do território e características da ocupação humana. Nesse tipo de abordagem, elementos como declividade do relevo, litologia, condições hidrológicas

e padrões de drenagem são analisados em conjunto com indicadores de exposição populacional, tais como densidade demográfica, intensidade da urbanização e formas de uso do solo. A articulação entre essas dimensões permite reconhecer padrões espaciais de suscetibilidade e exposição que dificilmente seriam captados por análises isoladas de cada variável. Estudos voltados à avaliação de riscos geomorfológicos indicam que a integração de dados ambientais e socioespaciais constitui etapa relevante na construção de diagnósticos territoriais voltados ao planejamento do uso do solo e à prevenção de desastres (Fell et al., 2008; Guzzetti et al., 2012).

Em contextos urbanos submetidos a processos intensos e frequentemente desordenados de expansão territorial, como os observados em numerosas cidades brasileiras, a ocupação progressiva de encostas, fundos de vale e planícies de inundação tende a aprofundar a interação entre condicionantes físicos da paisagem e a crescente exposição de populações e infraestruturas urbanas. A conversão acelerada de áreas naturais em superfícies impermeabilizadas, associada à pressão por moradia em setores ambientalmente frágeis, contribui para a ampliação de cenários de risco nos quais fatores geomorfológicos, hidrológicos e socioespaciais se articulam de forma complexa.

Nesse quadro, a incorporação de indicadores exploratórios e de técnicas de análise espacial tem se consolidado como um procedimento analítico relevante para a identificação de padrões territoriais de risco decorrentes da convergência entre suscetibilidade ambiental e processos de ocupação urbana. Tais abordagens permitem reconhecer configurações espaciais nas quais a predisposição física do terreno se combina à concentração populacional, delineando áreas potencialmente críticas que demandam maior atenção no âmbito do planejamento urbano e da gestão preventiva de desastres. Estudos voltados à cartografia de suscetibilidade e à análise espacial de perigos naturais têm demonstrado que a integração de múltiplos indicadores territoriais constitui uma etapa fundamental na construção de diagnósticos consistentes sobre instabilidades de encostas e eventos hidrológicos extremos em ambientes urbanizados (Nadim et al., 2006; Guzzetti et al., 2012). Dessa forma, a articulação entre métricas espaciais, informações ambientais e dados socioeconômicos emerge como um instrumento analítico capaz de qualificar a compreensão da distribuição espacial do risco, oferecendo subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas orientadas à redução de vulnerabilidades e ao aprimoramento das estratégias de planejamento territorial em contextos urbanos de elevada complexidade socioambiental.

Por fim, é importante ressaltar que o índice proposto não substitui análises hidrológicas ou geotécnicas detalhadas, nem incorpora explicitamente dimensões sociais da vulnerabilidade. Seu principal mérito reside na transparência metodológica, na reprodutibilidade e na capacidade de orientar a priorização espacial, contribuindo como etapa preliminar para estudos mais aprofundados e para o apoio à tomada de decisão no âmbito do planejamento urbano e ambiental.

Considerações Finais

Os resultados deste estudo permitiram atender ao objetivo de classificar e analisar a distribuição espacial do risco hidrogeomorfológico no município do Recife, a partir da integração entre a declividade do relevo e a densidade populacional em nível de bairro. A análise evidenciou que o índice exploratório construído apresenta uma organização espacial estruturada, com concentração de valores semelhantes em setores específicos do espaço urbano, refletindo a interação entre condicionantes físicos do terreno e padrões de ocupação humana.

A aplicação do Índice de Moran Global indicou a presença de autocorrelação espacial positiva e estatisticamente significativa, demonstrando que áreas com níveis elevados ou reduzidos de risco hidrogeomorfológico tendem a se agrupar no território, e não a se distribuir de forma aleatória. Esse resultado reforça a pertinência da abordagem adotada para a identificação de padrões espaciais relevantes à gestão urbana e à prevenção de desastres.

A análise local de autocorrelação espacial (LISA) aprofundou essa interpretação ao permitir a identificação de hotspots de risco hidrogeomorfológico, concentrados principalmente nas porções centro-oeste e nordeste do município. Esses setores caracterizam-se, em grande parte, pela sobreposição entre relevo mais acidentado e elevada densidade populacional, condição que favorece a intensificação do escoamento superficial, o desencadeamento de processos erosivos e a ocorrência de instabilidades de vertentes. Em contraste, os coldspots foram identificados, predominantemente, em áreas de planície e em setores com infraestrutura urbana mais consolidada, indicando menor concentração espacial de condições críticas.

A metodologia empregada mostrou-se adequada para a construção de um índice exploratório de priorização espacial do risco hidrogeomorfológico em contexto urbano. A integração entre a declividade do relevo, enquanto expressão do perigo físico, e a densidade populacional, como indicador de exposição humana, possibilitou sintetizar de forma transparente a interação entre fatores naturais e socioespaciais. A incorporação da análise de autocorrelação espacial agregou

confiabilidade interpretativa ao índice, ao evidenciar que os níveis mais elevados de risco tendem a se concentrar em núcleos territoriais específicos, e não de forma dispersa no espaço urbano.

Os produtos cartográficos e estatísticos gerados oferecem subsídios relevantes ao planejamento urbano e à gestão do risco hidrogeomorfológico, ao permitir a identificação de áreas prioritárias para ações preventivas, como intervenções em drenagem urbana, ordenamento do uso e ocupação do solo e políticas habitacionais. Dessa forma, o estudo contribui para o direcionamento mais eficiente de recursos públicos, especialmente em contextos marcados por escassez de dados e elevada vulnerabilidade socioambiental.

Por fim, destaca-se que o índice proposto possui caráter exploratório e não substitui análises hidrológicas, hidrodinâmicas ou geotécnicas detalhadas, uma vez que não incorpora explicitamente dimensões sociais, econômicas ou institucionais da vulnerabilidade. Ainda assim, a pesquisa evidencia o potencial da integração entre geotecnologias e estatística espacial como ferramenta de apoio à gestão territorial e à prevenção de desastres, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança do Clima), ao contribuir para a construção de cidades mais resilientes frente à intensificação dos eventos hidrogeomorfológicos extremos.

Financiamento

O presente trabalho não contou com financiamento externo. Constitui-se como resultado de pesquisa realizada no âmbito do curso de Especialização em Geoprocessamento da Universidade Federal do ABC (UFABC).

Referências

Alcántara-Ayala, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, n. 2-4, pp. 107–124, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1).

Araújo, L. F. G. de, Oliveira, L. F. da S., Freire, M. A. Q., Amorim, S. F., Guedes, M. A. N., Hawson, E. M. G. H., ... Ferreira, S. R. de M. Panorama Geral das Ocorrências Associadas a Movimentos de Massa em Encostas na Cidade do Recife-Pe. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 14, n. 2, e1764, 2025. <https://doi.org/10.23900/2359-1552v14n2-56-2025>.

Bruski, S. D.; Tognoli, F. M. W.; Araújo, T. P. Geotecnologias no contexto das cidades mais resilientes: zoneamento de áreas de risco a inundações como ferramenta de planejamento urbano. **Engenharia Urbana em Debate**, v. 1, n. 1, pp. 30-57, 2020. <https://doi.org/10.59550/engurbdebate.v1i1.92>.

Chen, X.; Ye, X.; Widener, M. J. et al. A systematic review of the modifiable areal unit problem (MAUP) in community food environmental research. **Urban Informatics**, v. 1, pp. 22, 2022. <https://doi.org/10.1007/s44212-022-00021-1>.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco**. Recife: CPRH, 2020.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2014 (PDF).

Diário de Pernambuco. Moradores cobram obras de contenção de barreiras em Dois Unidos e Nova Descoberta. **Diário de Pernambuco**, 2024. <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2024/06/moradores-cobram-obras-de-contencao-de-barreiras-em-dois-unidos-e-nov.html>.

Feng, B.; Zhang, Y.; Bourke, R. Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. **Natural Hazards**, v. 106, pp. 613-627, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>.

Fell, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3-4, pp. 85-98, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>.

Folha de Pernambuco. Barreira desliza e provoca desabamento de parte de residência no Vasco da Gama. **Folha de Pernambuco**, 2022. <https://www.folhape.com.br/noticias/barreira-desliza-e-provoca-desabamento-de-parte-de-residencia-no-vasco/235674/>.

Galvão, D. C. Uma contribuição para o entendimento dos fatores que provocam deslizamentos nos morros do Grande Recife: o relevo, a ocupação e o clima. Hum@nae – **Revista Eletrônica de Ciências Humanas**, Recife, v. 8, n. 1, 2014. <https://revistas.esuda.edu.br/index.php/humanae/article/view/114>.

Goerl, R. F.; Kobiyama, M.; Santos, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, pp. 103-111, 2012.

Guzzetti, F.; Mondini, A. C.; Cardinali, M.; Fiorucci, F.; Santangelo, M.; Chang, K. T. Landslide inventory maps: new tools for an old problem. **Earth-Science Reviews**, v. 112, pp. 42-66, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>.

IPCC. **Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability**. PORTNER, H.-O. et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

JC Online. Barreira desliza no Vasco da Gama e atinge casa. **JC Online**, 2013. <https://jc.uol.com.br/canal/cidades/noticia/2013/04/24/barreira-desliza-no-vasco-da-gama-e-atinge-casa-80839.php>.

Lapietra, I; García-Pereiro, T. A combined spatial investigation of social vulnerability and flood hazard: a brief report on the metropolitan city of Bari (Southern Italy). **Spatial Demography**, v. 13, n. 1, 2025. <https://doi.org/10.1007/s40980-025-00141-7>

Lima, L. D. B.; Silva, C. E. M.; Oliveira, C. M. E.; Rodrigues Junior, J. C.; Gomes, D. P. P. Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações na cidade do Recife-PE, Brasil. Espaço em Revista, Catalão, v. 27, n. 1, pp. 21-44, 2025. <https://doi.org/10.70261/er.v27i1.74841>.

Nadim, F. et al. Global landslide and avalanche hotspots. **Landslides**, v. 3, pp. 159-173, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10346-006-0036-1>

Nascimento, P. S. R.; Dinizio Junior, L. S. Análise hierárquica aplicada a riscos hidrológicos: análise espaço-temporal de alagamento e inundação no município de Aracaju (SE). **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 6, e025005, 2025 (PDF).

OCDE. **Redefinindo "Urbano": Uma nova maneira de medir áreas metropolitanas**, Paris: OECD Publishing, 2012. <https://doi.org/10.1787/9789264174108>.

Öztürk, Ş.; Yilmaz, K.; Dinçer, A. E. et al. Effect of urbanization on surface runoff and performance of green roofs and permeable pavement for mitigating urban floods. **Natural Hazards**, v. 120, pp. 12375–12399, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06688-w>.

PE Notícias. Recife está entre as três cidades do Brasil onde a população de baixa renda e os negros são mais atingidos por enchentes e deslizamentos de barreira. **PE Notícias**, 2025. <https://penoticias.com.br/blog/recife-esta-entre-as-tres-cidades-do-brasil-onde-a-populacao-de-baixa-renda-e-os-negros-sao-mais-atingidos-por-enchentes-e-deslizamentos-de-barreira/>.

Política com Opinião. Veja os 12 bairros com maior risco e saiba por que o Recife é tão vulnerável. **Política com Opinião**, 2025. <https://politicacomopinio.com/veja-os-12-bairros-com-maior-risco-e-saiba-por-que-o-recife-e-tao-vulneravel/>.

Prefeitura do Recife. **Moradores de Nova Descoberta ganham segurança com mais uma obra do Programa Parceria.** Prefeitura do Recife, 2025. <https://www2.recife.pe.gov.br/noticias/04/08/2025/moradores-de-nova-descoberta-ganham-seguranca-com-mais-uma-obra-do-programa>.

Sipulova, M. H. et al. The conundrum of the modified areal unit problem (MAUP) for urban decision-making across scales: a critical reflection. **Economic Themes**, v. 63, n. 1, pp. 23-43, 2025. <https://doi.org/10.2478/ethemes-2025-0002>

Tamandaré WEB. **Programa Parceria ultrapassa 5 mil obras e amplia ações em áreas de risco no Recife.** Tamandaré Web, 2026. <https://www.tamandareweb.com.br/portal/noticia/programa-parceria-ultrapassa-5-mil-obras-e-amplia-acoes-em-areas-de-risco-no-recife>.

Tariq, M. A. U. R.; Farooq, R.; Van De Giesen, N. A critical review of flood risk management and the selection of suitable measures. **Applied Sciences**, v. 10, n. 23, p. 8752, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10238752>.

UNDRR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Global assessment report on disaster risk reduction.** Geneva: United Nations, 2019.

Villa Verde, V. G. R.; Santos, A. C. Riscos geológicos urbanos nos morros da cidade de Recife – Pernambuco. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, v. 36, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2019.241288>.