

Mapeamento e projeção de inundações costeiras em bairros selecionados de Belém - PA para 2100

Mapping and projection of coastal flooding in selected Neighborhoods of Belém - PA for 2100

¹Shimeny Mikaelle Sagica Furtado, ²Marcos Vinicius Mescouto Cantanhede, ³Beatriz Lobato Mendes, ⁴Jamer Andrade da Costa

¹Graduando em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura – Universidade Federal Rural da Amazônia (sagicashimeny@gmail.com)

²Graduando em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura – Universidade Federal Rural da Amazônia (cantanhedemarcos100@gmail.com)

³Graduanda em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura – Universidade Federal Rural da Amazônia (beatrizlobatomendes@gmail.com)

⁴Professor assistente do Instituto Ciberespacial da Universidade Federal Rural da Amazônia (jamercoستا@gmail.com)

RESUMO: Este estudo analisou a suscetibilidade e os impactos territoriais de inundações costeiras em bairros selecionados em Belém-PA, considerando a interação entre eventos extremos de precipitação e a elevação do nível do mar. O objetivo é avaliar a exposição e realizar o estudo exploratório cartográfico das inundações. A metodologia empregou modelagem hidrodinâmica simplificada (modelo “banheira”) integrando dados de cotas altimétricas locais, registros de marés astronômicas, séries pluviométricas históricas e projeções climáticas globais do IPCC para 2100. Esse conjunto permitiu estimar um Nível Total de Água de 5,11 metros. O processamento utilizou interpolação TIN no QGIS para estruturar os MDEs. Os resultados indicaram cenários distintos de exposição. O bairro Jurunas apresentou elevada vulnerabilidade física, com todos os lotes sujeitos a inundação. No Umarizal, a impermeabilização do solo contribuiu para que cerca de 59,6% das habitações fossem classificadas como suscetíveis. Já o Paracuri evidenciou fragilidade social e espacial, com 75,7% das unidades habitacionais em áreas de risco. Conclui-se que o mapeamento e a projeção de inundações costeiras constituem instrumentos relevantes para subsidiar estratégias de mitigação e recomenda-se ampliar a aplicação da metodologia para a Região Metropolitana de Belém.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Mudanças Climáticas. Análise Espacial.

ABSTRACT: This study assessed the susceptibility and territorial impacts of coastal flooding in Belém, Pará, Brazil, considering the interaction between extreme rainfall events and sea-level rise. The methodology applied simplified hydrodynamic modeling (“bathtub” approach) integrating local elevation data, astronomical tide records, historical rainfall series, and IPCC climate projections for 2100. This integration established a Total Water Level of 5.11 m, while spatial processing in QGIS employed TIN interpolation to generate DEM. The results revealed heterogeneous exposure patterns. Jurunas presented maximum physical vulnerability, with all lots potentially affected due to its topographic deficit. In Umarizal, soil impermeabilization intensified risk, leaving 59.6% of dwellings susceptible. Paracuri demonstrated pronounced social and spatial fragility, with 75.7% of housing units exposed. It is concluded that coastal flood mapping is a crucial instrument for mitigation-oriented urban planning and territorial management. Expanding the methodology to the Belém Metropolitan Region is recommended to strengthen integrated strategies against climate change impacts.

Keywords: Geoprocessing. Climate Change. Spatial Analysis.

Recebido em:
01/07/2026
Revisado em:
14/09/2026
Publicado em:
28/09/2026

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras e estuarinas configuram-se como áreas de elevada relevância socioeconômica e ambiental, uma vez que, historicamente, concentram infraestrutura urbana, atividades produtivas e significativa densidade populacional. No entanto, esses ecossistemas

apresentam elevada vulnerabilidade frente às mudanças climáticas, especialmente no que se refere à elevação do nível médio do mar e ao aquecimento global. Segundo dados de agências e relatórios científicos recentes, como a NOAA (2024) e o AR6 2023 do IPCC, o aumento global da temperatura impulsiona duas dinâmicas centrais: a expansão térmica da água dos oceanos e o derretimento de massas de gelo continentais e geleiras.

Esse fenômeno resulta em uma tendência consistente e acelerada de elevação do nível marinho ao longo do século XXI, o que intensifica episódios de inundação costeira em áreas urbanas de baixas cotas altimétricas, ampliando substancialmente os riscos estruturais e sociais (Vitousek et al., 2017; Church; White, 2011). A revisão contínua de modelos digitais de elevação em escala global revela que a vulnerabilidade das populações costeiras ao aumento do nível do mar é maior que as estimativas anteriores, agravando a exposição de comunidades historicamente estabelecidas em áreas com baixa cota (Kulp e Strauss, 2019).

Essa fragilidade ambiental revela, contudo, uma profunda desigualdade socioespacial. Enquanto as populações de baixa renda ocupam, via de regra, as áreas de "baixada", terrenos de várzea precários e destituídos de saneamento adequado, onde a exposição à maré e às inundações é uma constante traumática (Cardoso et al., 2016), outros setores urbanos desfrutam de um refúgio topográfico e econômico. É o caso do bairro do Umarizal, consolidado como área de valorização imobiliária em Belém, que, embora também sofra com o déficit de drenagem urbana, concentra um estrato social de classe média e alta, beneficiando-se de uma infraestrutura que, historicamente, o protegeu das precariedades vividas pelas periferias (Vieira, 2016; Pereira et al., 2018).

No contexto brasileiro, a dinâmica hidrodinâmica da região Norte é fortemente influenciada pelo sistema estuarino amazônico, onde a ocupação do território ocorreu de forma histórica ao longo das margens fluviais e costeiras (Museu Paraense Emílio Goeldi, 2024). A cidade de Belém do Pará exemplifica perfeitamente essa realidade ao situar-se na zona costeira, entre o Rio Guamá e a Baía do Guajará (Ministério do Meio Ambiente, 2025; Freitas, 2020). Com uma altitude média em torno de 10 a 12 metros, grande parte de sua população habita planícies da porção continental com cotas iguais ou inferiores a 4 metros, ficando sujeita à influência direta das marés e das bacias hidrográficas locais.

Sob a classificação climática de Köppen-Geiger como Equatorial Quente Úmido (AFi), o município enfrenta chuvas abundantes e temperaturas elevadas ao longo de todo o ano, registrando uma precipitação média de 393,8 mm mensais (INMET, 2023). Essa combinação de topografia plana, forte interação estuarina e alto índice pluviométrico faz com que 76 das 125 áreas de risco da região sofram com ameaças geológicas de inundações e alagamentos (Defesa Civil de Belém, 2025; IPHAN, 2025).

Vale ressaltar que a cota projetada de inundação em Belém possui um caráter transitório, regido por um regime de marés semidiurnas, com alternância entre preamar e baixa-mar a cada seis horas. Contudo, a magnitude da área alagada é potencializada pela ocorrência de inundações compostas (*compound flooding*). Como demonstram Ward et al. (2018), em ambientes estuarinos globais, a sobreposição de marés elevadas com chuvas e descargas fluviais extremas amplifica exponencialmente o perigo de desastres. No contexto do estudo, esse fenômeno atinge seu ápice quando as intensas precipitações do inverno amazônico coincidem com as marés de sizígia e com as marés de equinócio. É exatamente a sinergia sazonal e astronômica desses fatores que deixam ao máximo a lâmina d'água, justificando a adoção dessa condição hidrológica extrema como cenário-base para estimar a exposição e a área total de inundação nos bairros analisados.

A justificativa para aprofundar os estudos dessa dinâmica reside nos severos impactos observados no ordenamento territorial de bairros belenenses com características distintas, refletindo um problema de saúde pública e planejamento. O bairro do Jurunas, por exemplo, destaca-se historicamente pelo alto número de registros de alagamentos devido à sua

localização na costa do rio Guamá e ao fluxo de umidade (Campos et al., 2015), situação agravada pela ocupação informal em áreas de risco (Aquino, 2017). O bairro do Paracuri, no Distrito de Icoaraci, sofre expressivamente com a interação entre processos fluviais e marés na Baía do Guajará. Já o bairro do Umarizal, pioneiro no processo de verticalização e com alta densidade demográfica (Gomes et al., 2018), demonstra como as inundações são agravadas pela extensa impermeabilização do solo, redução de áreas verdes e escassez de infiltração natural.

Conforme a literatura clássica aponta (Tucci, 2003), a maioria dessas inundações urbanas decorre de uma visão técnica fragmentada, que foca em projetos de drenagem localizados e negligencia a dinâmica integral da bacia hidrográfica, sobrecarregando a infraestrutura existente. Essa premissa alinha-se a cenários globais, como demonstrado por Hellegatte et al. (2013), que enfatiza como as inundações em áreas litorâneas geram impactos sociais e econômicos e sobrecarregam as infraestruturas de drenagem em zonas de intenso adensamento populacional que sofrem de permeabilidade hídrica.

Do ponto de vista metodológico, técnico e procedimental, este estudo adota protocolos de análise espacial e cartográficos para identificar e quantificar as áreas propensas à inundação costeira nos bairros selecionados em Belém do Pará. Como procedimento central, aplicou-se uma metodologia de modelagem hidrodinâmica simplificada, fundamentada no modelo conhecido como "banheira" (Schimid et al., 2014), que permite avaliar o alcance das águas sob diferentes cenários de elevação.

A aplicabilidade dessa modelagem de conectividade é amparada por estudos como o de Poulter e Halpin (2008), que demonstram a eficácia e o custo-benefício de modelos estáticos em Sistema de Informações Geográficas (SIG) para estimar o alcance hídrico e mapear preliminarmente as cotas topográficas vulneráveis em diferentes cenários de inundação costeira. A originalidade desta pesquisa para o setor de planejamento urbano e costeiro consiste em fornecer a primeira estimativa integrada e especializada das áreas potencialmente inundáveis nesses recortes específicos, integrando dados atuais de marés altas, precipitação extrema e horizontes projetados para 2100, levando em consideração o pior cenário, com altas emissões de carbono. Esses resultados oferecem uma aplicação prática e inovadora para a elaboração de cenários de adaptação regional frente à crise climática.

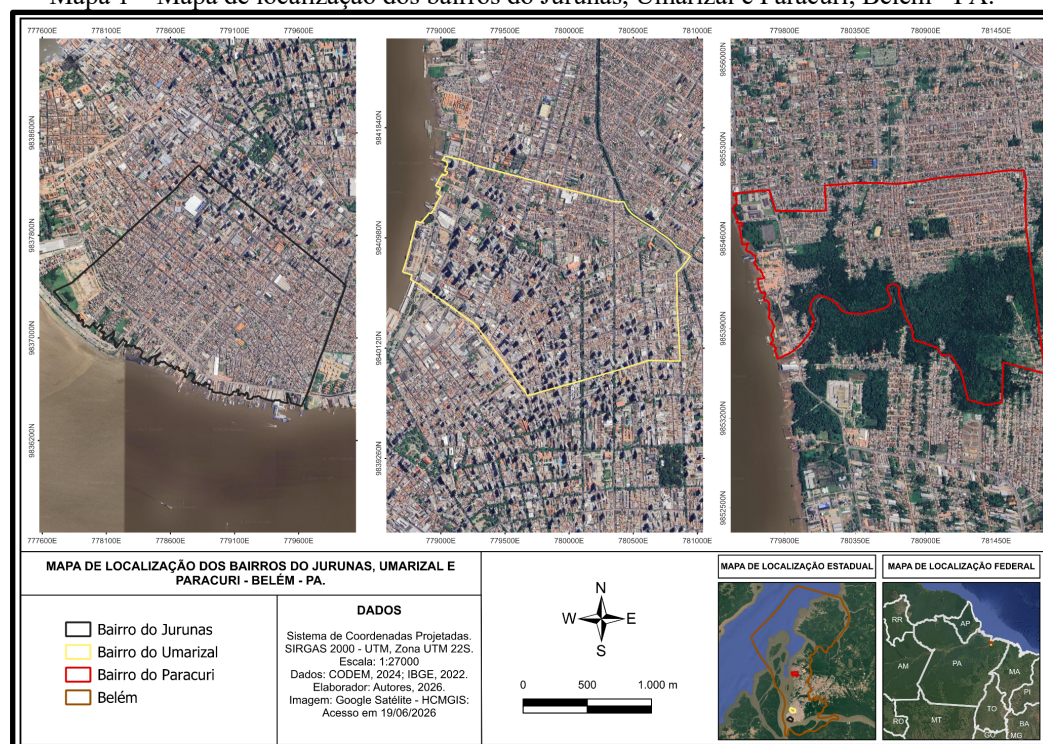
Diante da problemática apresentada, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar os impactos e a suscetibilidade às inundações decorrentes do aumento do nível do mar e de eventos extremos de precipitação nos bairros do Jurunas, Umarizal e Paracuri, áreas urbanas costeiras e estuarinas de Belém. O foco está em identificar os setores mais vulneráveis por meio de um estudo exploratório cartográfico, que permite compreender a relação entre características físicas, sociais e espaciais das localidades analisadas.

A escolha desses bairros decorre da disponibilidade de dados específicos e consistentes, fundamentais para a construção de cenários confiáveis, além da representatividade espacial evidenciada no Mapa 1, que demonstra a relevância dessas áreas para a dinâmica urbana da cidade. O estudo busca, portanto, detalhar a exposição diferenciada entre os bairros, considerando fatores como altimetria, impermeabilização do solo e densidade populacional. Nesse sentido, a investigação se estrutura em etapas que envolvem a integração de informações locais com projeções globais, a elaboração de modelos digitais de elevação e a quantificação de lotes e habitantes potencialmente afetados. A partir dessa abordagem, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Cartografar e quantificar as áreas propensas à inundação na área de estudo, utilizando o modelo "banheira" com um horizonte projetado até 2100.
- Analisar a suscetibilidade do bairro do Paracuri à inundação costeira, considerando as projeções climáticas de elevação do nível do mar para o ano de 2100.

- Avaliar o impacto de fatores de urbanização e infraestrutura, como a impermeabilização do solo e a deficiência dos canais de drenagem, no agravamento das cheias em áreas de alta densidade demográfica, a exemplo do bairro do Umarizal.

Mapa 1 – Mapa de localização dos bairros do Jurunas, Umarizal e Paracuri, Belém - PA.



Fonte: Os autores (2026).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme estabelecido por Tucci (2003), os fenômenos de enchente e inundação distinguem-se por suas características hidrológicas. As enchentes correspondem à elevação temporária do nível da água no interior do canal de drenagem em decorrência do aumento da vazão provocada por eventos de precipitação, permanecendo o escoamento contido no leito menor. As inundações, por sua vez, ocorrem quando a capacidade hidráulica do canal é excedida, ocasionando o extravasamento da água para as áreas adjacentes, denominadas leito maior. Com base nesses conceitos, a suscetibilidade às inundações costeiras foi avaliada por meio de um modelo estático de inundação (bathtub model), amplamente utilizado em estudos exploratórios de elevação do nível do mar e cartografia de áreas potencialmente inundáveis (SCHMID *et al.*, 2014).

Cabe ressaltar que, o modelo bathtub foi adotado por apresentar baixo custo computacional, facilidade de implementação em ambiente SIG e por possibilitar a elaboração de cenários prospectivos de suscetibilidade à inundação em escala urbana, constituindo importante ferramenta para subsidiar o planejamento territorial e a gestão de riscos. Entretanto, trata-se de um modelo que constitui uma simplificação da dinâmica das inundações, pois considera essencialmente a distribuição de um nível de água sobre a superfície topográfica, não representando integralmente os processos físicos responsáveis pela propagação do escoamento. Dessa forma, seus resultados devem ser interpretados como uma estimativa potencial de suscetibilidade, e não como uma representação determinística da inundação real (SANDERS; WING; BATES, 2024).

Nesse viés, é notório que as mudanças climáticas vêm alterando as condições de ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos, aumentando a necessidade de

considerar cenários de maior magnitude em avaliações de risco. No Brasil, em escala regional, a variabilidade associada ao fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS) exerce influência sobre o regime pluviométrico do Pará. Estudos realizados em Belém demonstram diferenças no comportamento da precipitação durante anos de El Niño e La Niña, evidenciando a influência desses fenômenos sobre a variabilidade climática local (SOUZA JÚNIOR et al., 2017). Em escala estadual, estudos de modelagem climática também identificam alterações na distribuição sazonal da precipitação durante episódios de El Niño e La Niña no Pará (ÁVILA, 2021). Além disso, análises históricas da precipitação em Belém apontam alterações na intensidade das chuvas e na ocorrência de eventos extremos, destacando a influência da variabilidade associada aos fenômenos El Niño e La Niña (SANTIAGO et al., 2011).

À luz do exposto, a escolha do cenário SSP5-8.5 foi adotada como condição de estresse para avaliação da exposição potencial, buscando representar uma situação de elevada magnitude para fins de planejamento e análise de risco. A consideração de cenários de alta magnitude é relevante para o planejamento costeiro orientado pela precaução, especialmente diante das incertezas associadas à futura elevação do nível do mar (ABADIE et al., 2020). Nesse viés, as áreas de estudo compreendeu os bairros do Jurunas, Umarizal e Paracuri, com cotas médias 3,15m, 6,10 m e 3,90 m respectivamente, localizados no município de Belém (PA), caracterizados pela influência estuarina da Baía do Guajará, e com projetadas variando de 8 m a 11 m e elevada suscetibilidade à ocorrência de eventos de inundação associados à combinação entre marés elevadas, precipitações intensas e elevação do nível médio do mar.

A modelagem foi desenvolvida em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software QGIS, integrando informações altimétricas, hidrológicas, climáticas e cartográficas provenientes de bases oficiais. Os dados altimétricos foram obtidos junto à Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM), enquanto a delimitação das margens fluviais foi realizada utilizando a base vetorial de massa d'água disponibilizada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os dados de maré astronômica foram obtidos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), as informações pluviométricas foram extraídas das séries históricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as bases de lotes urbanos foram obtidas por meio do complemento OSM Downloader e as projeções de elevação do nível médio do mar foram baseadas no Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Nesse viés, para estimar os cenários futuros foi calculado o Nível Total de Água (NTA), definido como a soma da maré astronômica máxima (MA), da sobre-elevação meteorológica (SM) e da projeção da elevação do nível médio do mar (ENM), conforme a Equação (1):

$$\text{NTA} = \text{MA} + \text{SM} + \text{ENM} \quad (1)$$

Então, o horizonte temporal adotado foi o ano de 2100, considerando o cenário climático SSP5-8.5, correspondente a uma trajetória de altas emissões de gases de efeito estufa, utilizado neste estudo para representar uma condição extrema de planejamento e avaliação de risco. Embora o IPCC também apresenta cenários intermediários, como o SSP2-4.5, optou-se pela utilização do SSP5-8.5 por representar a máxima condição potencial de inundação, permitindo avaliar a maior exposição das áreas urbanas analisadas.

Nesse cenário, o componente astronômico (MA) foi representado pela maior maré registrada para Belém, correspondente a 3,90 m, conforme dados do CPTEC. A componente meteorológica (SM) foi estimada em 0,20 m, considerando a sobre a elevação máxima associada a eventos extremos de precipitação observados nas séries históricas do INMET. Já o componente referente às mudanças climáticas (ENM) foi fixada em 1,01 m, correspondente à projeção máxima de elevação do nível médio do mar para o cenário SSP5-8.5 apresentada pelo IPCC (2023). Assim, obteve-se:

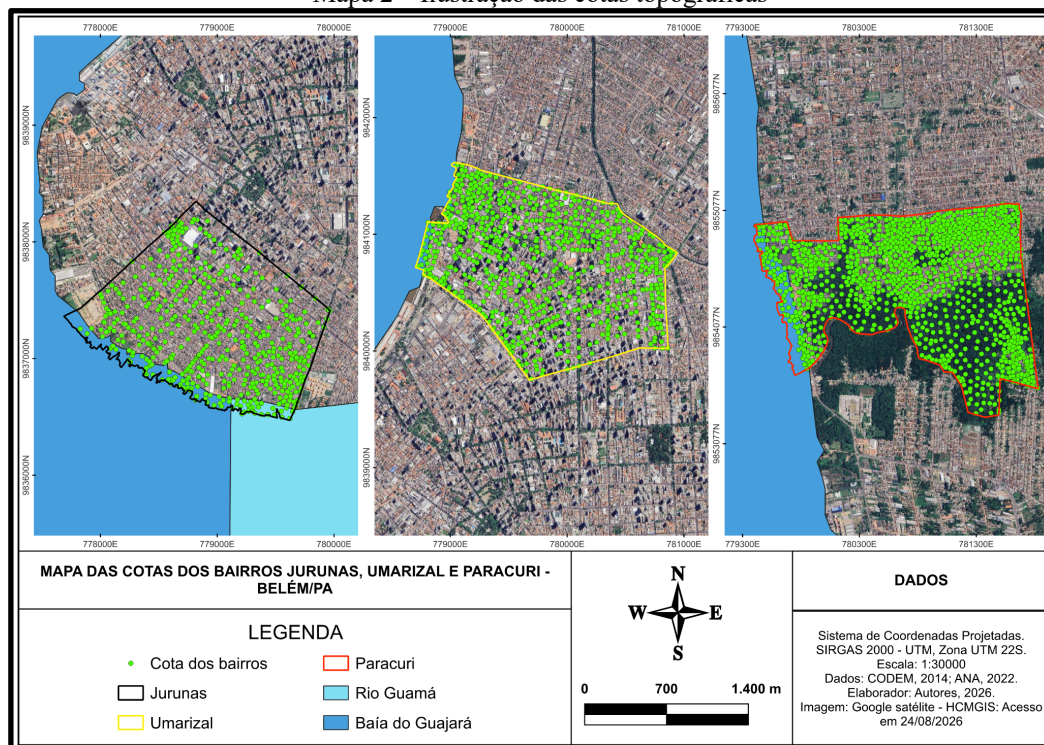
$$\text{NTA} = 3,90 + 0,20 + 1,01 \quad (2)$$

$$NTA = 5,11 \text{ m (3)}$$

Após o cálculo do Nível Total de Água (NTA), foram analisados os valores altimétricos das médias dos bairros supracitados, esses valores foram processados em ambiente SIG para obtenção da altitude média das margens, utilizada como referência altimétrica para construção dos cenários de inundação. A utilização da altitude média das margens teve como objetivo estabelecer um nível altimétrico representativo para cada bairro, permitindo a comparação entre áreas submetidas às mesmas condições hidrológicas. Reconhece-se, entretanto, que essa simplificação não representa integralmente a variabilidade topográfica local, constituindo uma aproximação metodológica adequada para análises exploratórias de suscetibilidade em escala urbana.

Nesse sentido, a cota potencial de inundação foi obtida pela soma entre o Nível Total de Água (5,11 m) e a altitude média das margens de cada bairro, resultando em cotas projetadas de 8,26 m para o Jurunas, 11,21 m para o Umarizal e 9,01 m para o Paracuri. Esses valores foram utilizados como referência para a delimitação das áreas potencialmente inundáveis, com base nesses dados foi elaborado o mapa de cotas topográficas (Mapa 2), permitindo visualizar a distribuição espacial da altimetria e identificar os gradientes topográficos predominantes nas áreas de estudo.

Mapa 2 – Ilustração das cotas topográficas



Fonte: Os autores (2026).

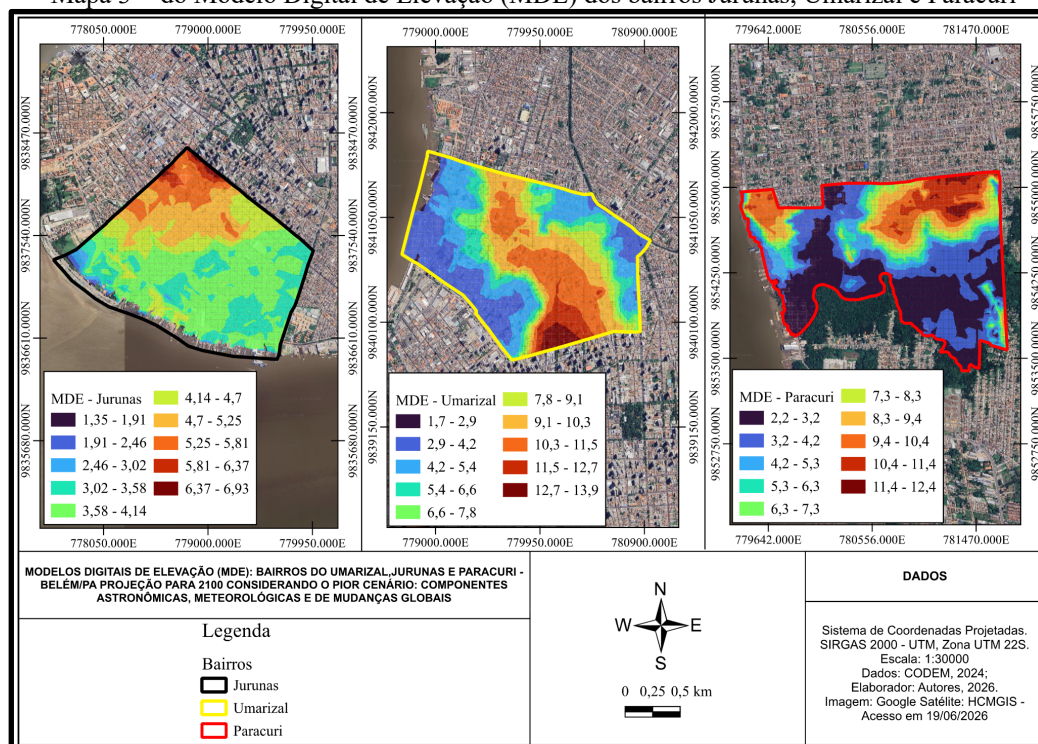
Por Seguinte, com o uso da ferramenta Qgis 3.44.8 foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborado a partir dos pontos cotados fornecidos pela CODEM. Inicialmente, os dados altimétricos foram interpolados pelo método da Rede Irregular Triangular (TIN Triangulated Irregular Network), gerando uma superfície contínua representativa do relevo urbano. Posteriormente, foi construída uma malha regular composta por células de $5 \times 5 \text{ m}$, utilizada como unidade espacial das análises. Sobre essa malha aplicou-se a ferramenta Estatística Zonal, permitindo calcular a altitude média de cada célula com base no MDE, conforme observado no mapa 3.

Na etapa seguinte, as altitudes médias de cada célula foram comparadas às cotas

potenciais de inundação estabelecidas para cada bairro. As células com valores altimétricos inferiores às respectivas cotas foram classificadas como potencialmente inundáveis, possibilitando a delimitação espacial das áreas suscetíveis à inundação no cenário projetado para 2100. As áreas inundáveis foram posteriormente interceptadas com as bases vetoriais de lotes urbanos, permitindo quantificar a área potencialmente inundada, o número de lotes atingidos e a população exposta, utilizando informações censitárias do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Embora o modelo adotado apresenta elevada aplicabilidade para análises exploratórias e planejamento territorial, algumas limitações metodológicas devem ser consideradas. O método não incorpora modelagem hidrodinâmica bidimensional, parâmetros de rugosidade superficial, infiltração, funcionamento da drenagem urbana, processos erosivos ou interação dinâmica entre marés, vazões fluviais e precipitação. Além disso, o erro vertical inerente ao Modelo Digital de Elevação não foi incorporado às simulações, podendo influenciar a delimitação das áreas limítrofes entre classes inundáveis e não inundáveis. Também não foi realizada calibração do modelo com eventos históricos de inundação nem análise de sensibilidade entre diferentes cenários climáticos, sendo adotado exclusivamente o cenário SSP5-8.5.

Mapa 3 - do Modelo Digital de Elevação (MDE) dos bairros Jurunas, Umarizal e Paracuri



Fonte: Os autores, 2026.

3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

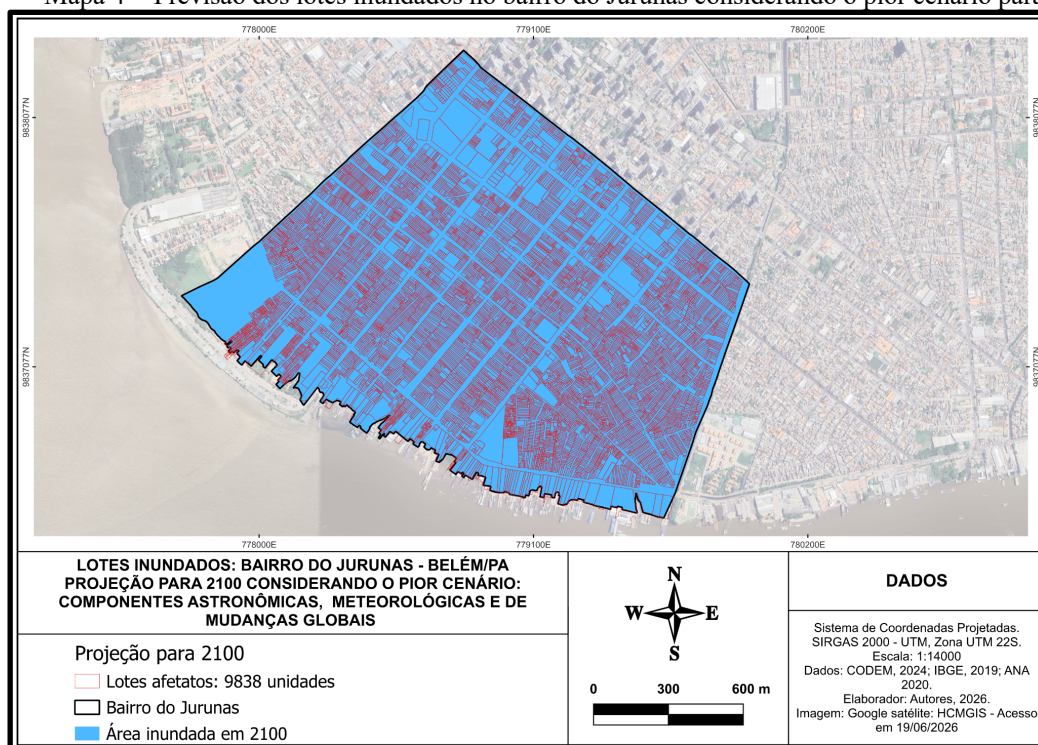
No que tange às previsões climáticas para o horizonte de 2100, os modelos aplicados indicam um Nível Total de Água (NTA) elevados para as áreas de estudo, impulsionado pela convergência de fatores astronômicos, meteorológicos e a elevação do nível do mar. Esta projeção corrobora os alertas de Albuquerque (2021), que destaca como a intensificação do ciclo hidrológico e as emissões antropogênicas aceleram a vulnerabilidade de zonas costeiras estuarinas. Segundo Mendes e Pinheiro (2024), tais cenários não são eventos isolados, mas o

reflexo de uma crise ambiental global que redefine a hidrografia local, exigindo que o planejamento urbano antecipe regimes de marés e chuvas muito mais severos do que os registrados historicamente.

3.1. Jurunas

Os dados indicam que a previsão da cota máxima de cheia para o ano de 2100 é de 8,26 m, valor 162,2% superior à média da cota de 3,15 m do bairro do Jurunas. Desta forma, os resultados da metodologia aplicada demonstram que, no pior cenário climático e hidrológico projetado para 2100, como observado no Mapa 4, todos os 9.838 lotes do bairro do Jurunas estarão sujeitos à inundação. Conforme apontam Campos et al. (2020), os alagamentos e inundações na área de estudo têm histórico associado ao processo de ocupação desordenada e à transformação urbana intensificada a partir do final da década de 1980, marcada por intervenções de macrodrenagem e pela alteração das bacias hidrográficas.

Mapa 4 - Previsão dos lotes inundados no bairro do Jurunas considerando o pior cenário para 2100.



Fonte: Os autores, 2026.

Além do mais, essa condição reflete o déficit altimétrico do bairro, cuja altitude máxima é inferior à cota de inundação, tornando inevitável o avanço das águas sobre a malha urbana. Maués (2025) caracteriza essa realidade como a fragilidade intrínseca da “cidade das baixadas”, onde a barreira entre o rio e a residência se dissolve sob a pressão das mudanças climáticas. Silva et al. (2025) acrescentam que o adensamento populacional em áreas de risco não é apenas um problema habitacional, mas um fator que intensifica crises sociais e humanitárias, já que a infraestrutura existente não comporta a magnitude dos eventos previstos.

Nesse contexto, Santos e Oliveira (2025) abordam a temática dos refugiados climáticos no cenário atual, e a perda de habitabilidade e o consequente deslocamento forçado da população, fatores esses que, na área de estudo dependerão da progressiva intensificação e frequência dos eventos climáticos extremos, configurando uma ameaça futura, pois, segundo Avila-Diaz et al. (2020), com base em dados de reanálise e nas projeções dos modelos do Sistema Terrestre, esses eventos extremos no Brasil registraram um aumento expressivo tanto

em frequência quanto em intensidade ao longo deste século. Atualmente, o pior cenário de inundação na região observada, possui caráter temporário, com episódios de inundação decorrentes de picos de maré e chuvas intensas que duram cerca de seis horas e o seu movimento de vazante estende-se por aproximadamente oito horas (SILVA; SOMBRA; OLIVEIRA NETO, 2023).

Sob a perspectiva epidemiológica, a frequência crescente desses alagamentos tende a amplificar um problema histórico na região: a proliferação de doenças de veiculação hídrica. Conforme discutido por Freitas et al. (2016), a exposição contínua de populações em áreas urbanas precárias a águas contaminadas potencializa surtos de leptospirose, hepatite A e diarreias agudas, consolidando um quadro severo de vulnerabilidade à saúde pública. Segundo Costa (2025), a ausência de planejamento urbano em áreas de ocupação informal consolidadas sobre zonas baixas e alagáveis perpetua problemas estruturais que remontam aos primórdios do desenvolvimento da capital paraense. Esse contexto evidencia como a carência de macrodrenagem e de saneamento básico intensifica o represamento das águas pluviais e das marés, ampliando a exposição contínua da população a patógenos e o consequente risco de contaminação por doenças de veiculação hídrica.

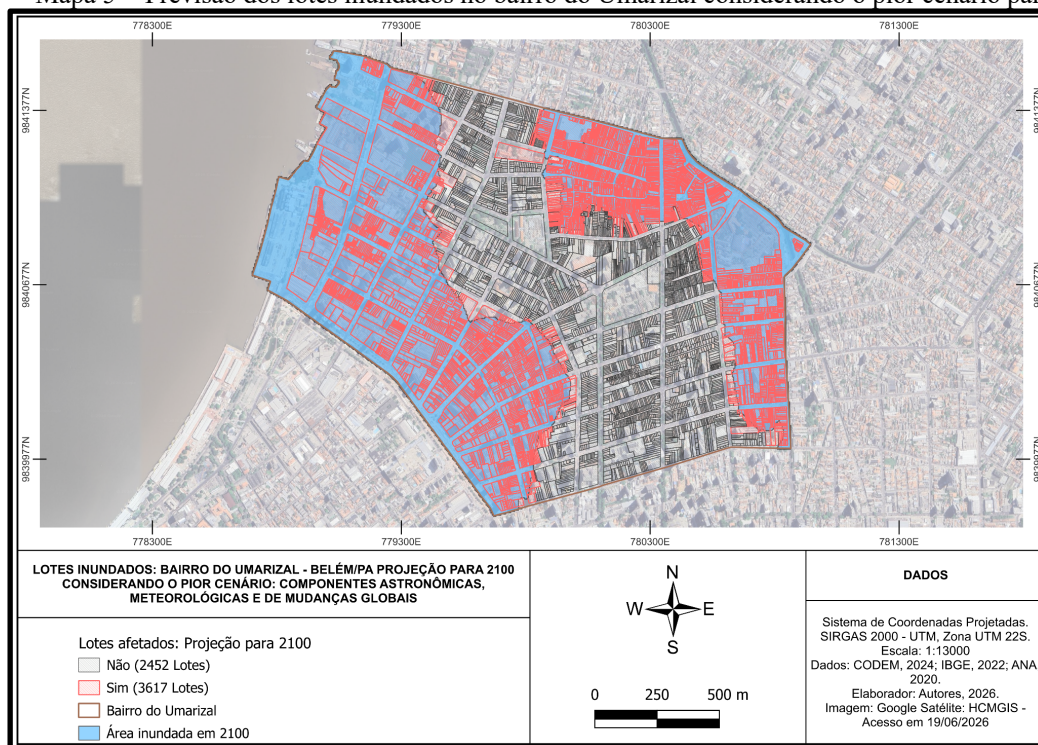
3.2 Umarizal

Em contrapartida, a análise do parcelamento do solo no bairro do Umarizal, reconhecida como uma das áreas de maior valorização imobiliária de Belém, passou por um processo de centralidade da infraestrutura e pela constante demanda por novos empreendimentos verticais, conforme aponta Vieira (2016). No entanto, essa expansão urbana acelerada, impulsionada pela centralidade da infraestrutura e pela demanda por empreendimentos de alto padrão, foi construída sobre a obstrução de sua hidrografia original. A extensa impermeabilização do solo, a redução de áreas verdes e o progressivo soterramento de antigos igarapés criaram uma falsa sensação de refúgio topográfico para as classes de maior poder aquisitivo. Sob os cenários dos extremos climáticos projetados para o ano de 2100, esse histórico revela um cenário de profunda vulnerabilidade e miopia administrativa no planejamento urbano.

Os dados levantados revelam a anatomia de um desastre anunciado: das 6.069 unidades habitacionais mapeadas, 3.617 estão situadas em zonas de alta suscetibilidade ao avanço das águas. Trata-se de um comprometimento de 59,6% das moradias, que estão em uma situação de inundação em uma cota projetada de 11,21 m. Esse cenário evidencia o risco iminente de colapso associado a um modelo de expansão urbana que historicamente ignorou a hidrografia local a uma dinâmica que, conforme advertido por Jha, Bloch e Lamond (2012), configura-se como um dos principais motores globais para a transformação de eventos hidrológicos em catástrofes estruturais, ao suprimir as rotas naturais de escoamento e amortecimento hídrico.

A gravidade e a segregação espacial dessa exposição tornam-se incontestáveis e visíveis no Mapa 5. A topografia do bairro apresenta um desnível acentuado, com cotas que variam de 1,71 m a 13,95 m, segundo dados fornecidos pela CODEM. Com uma elevação média estagnada em 6,10 m, valor inferior à cota de inundação prevista, demonstra clareza que as menores cotas na extremidade do bairro, onde mostra-se o risco à inundação, enquanto a região central, com a cota mais alta, é pouco ou quase nada afetado pois a água tende a concentrar-se para as extremidades.

Mapa 5 - Previsão dos lotes inundados no bairro do Umarizal considerando o pior cenário para 2100.



Fonte: Os autores, 2026.

Essa vulnerabilidade expõe um paradoxo urbano: mesmo em uma área de altíssimo valor aquisitivo, o déficit histórico de macrodrenagem e a impermeabilização excessiva contribuem para que extremos climáticos se transformem em graves crises socioambientais e até humanitárias, conforme o alerta de Bossi (2025). Diante do expressivo volume de lotes em risco, torna-se importante a reestruturação das políticas de investimento público nestas áreas. Tais ações devem trocar a infraestrutura cinza, o ordenamento territorial cimentado, focando prioritariamente na adoção de infraestruturas verdes, como: soluções baseadas na natureza e na redução direta da vulnerabilidade da população residente nas mais de três mil habitações que serão severamente impactadas (CRUZ; NUNES; AZEVEDO, 2019).

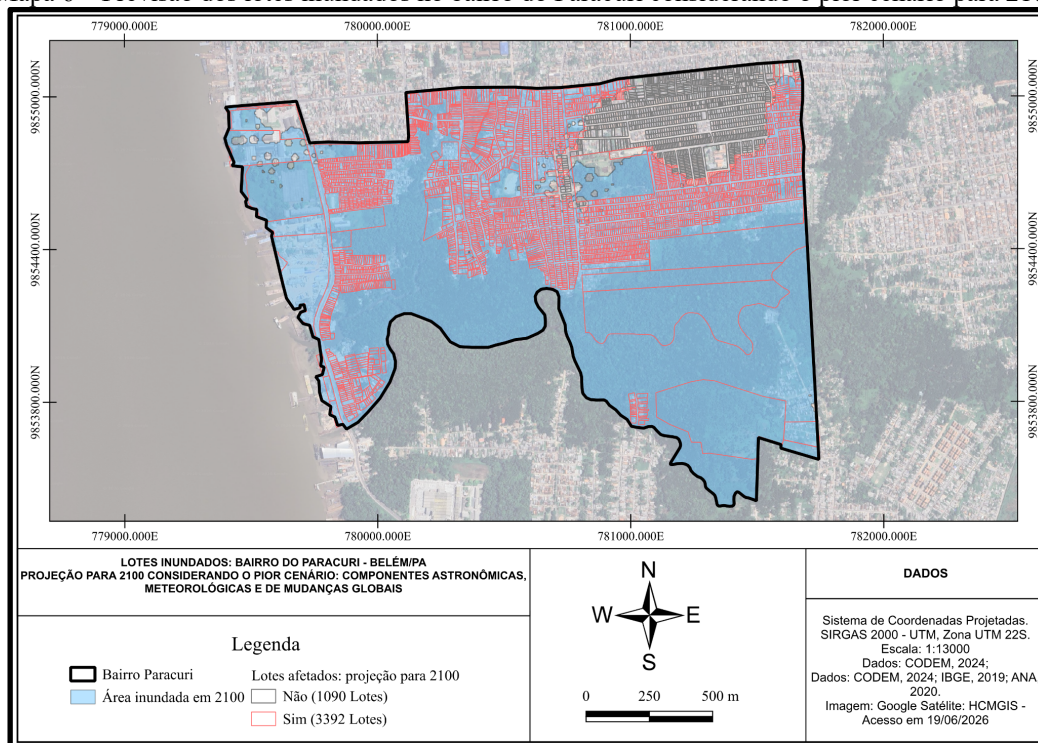
3.3 Paracuri

Segundo Moftakhari et al. (2015), as mudanças climáticas de origem antropogênica contribuem para a elevação do nível médio do mar, ampliando a exposição de áreas costeiras ao risco de inundação. Nesse contexto, estudos sobre vulnerabilidade costeira na Amazônia indicam que regiões estuarinas, como Belém, apresentam maior sensibilidade às variações do nível da água e à ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos (JEVREJEVA et al., 2016). Para o bairro do Paracuri, o cenário mais crítico projetado para 2100, considerando os fatores associados às mudanças climáticas e às tendências de inundação costeira, resultou em uma cota máxima de 9,01 m. Esse valor corresponde a aproximadamente 131,0% acima da cota média de referência adotada para o bairro, de 3,90 m.

Os resultados indicam maior suscetibilidade à inundação no cenário mais crítico projetado para 2100. Conforme apresentado no Mapa 6, aproximadamente 3.392 lotes estão inseridos em áreas potencialmente inundáveis, enquanto 1.090 permanecem fora da área delimitada pelo modelo. A distribuição espacial dessas áreas está associada, principalmente, às menores cotas altimétricas nas porções sul, sudeste e central do bairro, além da proximidade com a Baía do Guajará. Essas características topográficas e locais podem favorecer a

exposição dessas áreas à elevação do nível da água, especialmente durante eventos hidrometeorológicos de maior intensidade.

Mapa 6 – Previsão dos lotes inundados no bairro do Paracuri considerando o pior cenário para 2100.



Fonte: Os autores, 2026

As maiores concentrações populacionais potencialmente expostas estão distribuídas principalmente nas porções central, sul e sudeste do bairro, áreas que também apresentam menores cotas altimétricas. Esse padrão espacial indica que a suscetibilidade à inundação não está relacionada exclusivamente às características físicas do território, mas também às condições de ocupação e à distribuição da população. Em áreas costeiras de baixa altitude, a presença de populações urbanas pode ampliar a exposição aos eventos de inundação, evidenciando a importância de considerar aspectos socioeconômicos na avaliação da vulnerabilidade (MCGRANAHAN; BALK; ANDERSON, 2007).

No contexto amazônico, essa questão merece atenção devido à sensibilidade de diferentes áreas urbanas aos eventos hidrometeorológicos extremos e às possíveis alterações nas condições climáticas futuras (IPCC, 2023). Entretanto, a identificação de populações potencialmente expostas por meio da modelagem não significa que todos os indivíduos ou domicílios estejam necessariamente sujeitos aos impactos de uma inundação. Os resultados devem ser interpretados como uma estimativa espacial da exposição sob as condições consideradas no cenário analisado.

4. CONCLUSÃO

A avaliação e a cartografia da suscetibilidade e dos impactos das inundações costeiras projetadas para o horizonte de 2100 evidenciaram a vulnerabilidade física e territorial dos bairros Jurunas, Umarizal e Paracuri, em Belém-PA. Por meio da aplicação da modelagem hidrodinâmica baseada no modelo "banheira" (*bathtub*), os resultados demonstraram que o déficit altimétrico e as baixas cotas topográficas dessas localidades estuarinas constituem fatores determinantes para a exposição da malha urbana e a potencial perda de habitabilidade

frente ao cenário severo de elevação do nível do mar, com Nível Total de Água (NTA) de 5,11 m, associado a eventos extremos e à cota média de cada bairro.

No que tange aos objetivos específicos, a quantificação espacial revelou que o bairro do Jurunas apresenta vulnerabilidade elevada, com 100% de seus 9.838 lotes sujeitos à inundação em decorrência de sua baixa altitude média. O bairro do Umarizal, por sua vez, evidenciou a influência dos fatores de impermeabilização do solo e de adensamento urbano, registrando 59,6% das habitações em áreas de potencial risco para o ano de 2100. Por fim, o distrito do Paracuri registrou cenário de exposição territorial em 75,7% de suas unidades habitacionais situadas em setores inundáveis, considerando o cenário de altas emissões de carbono projetado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Cumpre analisar os resultados com atenção quanto à duração da lâmina d'água: por se tratar de um ambiente estuarino regido por marés semidiurnas, o pico de inundação tende a durar cerca de seis horas, variando conforme a transição entre a preamar e a baixa-mar. Contudo, observa-se que os eventos climáticos extremos apresentam maior frequência e intensidade associadas ao aquecimento global (TEBBALDI et al., 2021), o que reduz o intervalo de recuperação do meio urbano e amplia os danos socioambientais, mesmo em episódios de caráter temporário.

Ressalta-se que a presente pesquisa possui caráter cartográfico exploratório e apresenta limitações relacionadas à simplicidade do modelo adotado. Há ausência de variáveis hidrológicas fundamentais, tais como taxas de infiltração, percolação no solo e evapotranspiração. Adicionalmente, o modelo *bathtub* não considera a velocidade de propagação e o tempo de permanência da lâmina d'água até atingir a cota máxima, além de desconsiderar a não linearidade da drenagem urbana, dado o histórico de igarapés canalizados e soterrados na cidade. Conforme observam Siqueira et al. (2021, p. 7), "a presença de canais e cursos d'água na malha urbana altera substancialmente o fluxo hídrico, transformando essas vias de escoamento em vetores diretos de alagamento nas áreas adjacentes". A inundação, portanto, não ocorre exclusivamente de forma progressiva a partir da linha de costa, mas também por meio da extravasão desses corpos d'água remanescentes na malha urbana.

Ademais, ante a variação nos padrões meteoceanográficos globais decorrente das mudanças climáticas, ressalta-se a não estacionariedade das séries históricas, cujos máximos registrados (maior maré e maior precipitação) podem ser superados por eventos futuros. Assim, o mapeamento de suscetibilidade à inundação atua como instrumento metodológico preliminar para fundamentar o planejamento urbano e o debate climático. Identifica-se a necessidade de expandir essa abordagem para a Região Metropolitana de Belém em investigações futuras, aplicando análises hidrodinâmicas mais complexas e validações de campo.

5. REFERÊNCIAS

ABADIE, Luis M. et al. Comparing urban coastal flood risk in 136 cities under two alternative sea-level projections: RCP 8.5 and an expert opinion-based high-end scenario. *Ocean & Coastal Management*, v. 193, p. 105249, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105249>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) / SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS (SNIRH). **ANA–Belém: Resumo Executivo**. Região metropolitana de Belém/PA. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4e560d0e-9534-44e2-8e1931ba5fb3596a/attachments/ANA%20Belem_Resumo_Executivo.p df. Acesso em: 20 nov. 2025.

ALBUQUERQUE, Roberta Luiza de Oliveira; MENESCAL, Germana. Aproveitamento de água da chuva para minimizar inundações urbanas na microdrenagem do bairro do Reduto em Belém-PA. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 13, n. 1, 2021. Disponível em: [Revista de Engenharia e Tecnologia – artigo. https://revistas.uepg.br/index.php/ret/pt_BR/article/view/17195?utm_source=chatgpt.com](https://revistas.uepg.br/index.php/ret/pt_BR/article/view/17195?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 28 jun. 2026.

AQUINO, R. D. G. Urbanização, saneamento e favelização na Amazônia brasileira: análise do Programa de Recuperação da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova (PROMABEN), Belém/PA. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 14., 2017, Poços de Caldas. **Anais eletrônicos do Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**, Poços de Caldas: IBEAS, 2017. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/IX-024.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2026.

ÁVILA, Patrícia Luzia Rodrigues. Análise da precipitação sazonal simulada utilizando o RegCM4 sobre o estado do Pará em anos de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 14, n. 1, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v14i1.36127>.

AVILA-DIAZ, Alvaro et al. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. **Climate Dynamics**, v. 55, n. 5-6, p. 1403–1426, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05333-z>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05333-z>. Acesso em: 25 ago. 2026.

BELÉM. Comissão de Defesa Civil. **Riscos Geológicos: Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR)**. Belém: Defesa Civil/Prefeitura Municipal de Belém, 2025. Disponível em: <https://defesacivil.belem.pa.gov.br/riscos-geologicos/>. Acesso em: 28 jun. 2026.

BOSSI, Dário. Deslocamentos por crises climáticas aumentam e milhões precisam deixar suas casas. In: SARMIENTO, Susana. **Revista Casa Comum**, 13 ago. 2025. Disponível em: <https://revistacasacomum.com.br/em-pauta-refugiados-climaticos/>.

CAMPOS, T. L. O. et al. Eventos extremos de precipitação em Belém PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. **Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1433>. Disponível em: <http://scielo.br/j/ambiagua/a/n7zrxcJnshLJHyRqV5LZQLP/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 28 jun, 2026.

CAMPOS, William dos Santos *et al*. Uso da ferramenta SIG aplicado a alagamentos: estudo de caso na cidade de Belém (PA). **Revista Desarrollo Local Sostenible (DELOS)**, v. 13, n. 36, p. 113-131, 2020. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/delos/36/ferramenta-sig.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2026.

CARDOSO, A. C. D. et al. **Estudos de Caso em Metrôpoles Selecionadas: Assentamentos Precários na Região Metropolitana de Belém: Baixadas e Ocupações**. Brasília: Ipea, 2016. p. 207-208. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/160718_caracterizacao_tipologia_cap08.pdf. Acesso em: 29 jun. 2026.

CHURCH, J. A.; WHITE, N. J. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. **Surveys in Geophysics**, v. 32, p. 585-602, 2011. DOI: 10.1007/s10712-011-9119-1.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225941444_Sea-Level_Rise_from_the_Late_19th_to_the_Early_21st_Century. Acesso em: 28 jun. 2026.

COSTA, Áurea Pimentel. **Dos portos às palafitas: Estratégias de requalificação urbana no Bairro do Jurunas**. Orientador: José Júlio Ferreira Lima. 2025. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/2ab8e6d8-0186-4502-bfa9-3fedd78ffb7d/content>. Acesso em: 25 ago. 2026.

CRUZ, João Pedro Martins da; NUNES, Malena Silva; AZEVEDO, Ricardo José Gontijo. Planejamento urbano e áreas predispostas a risco geológico em Belo Horizonte: limitações da lei de parcelamento, ocupação e uso do solo. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 20, n. 70, p. 462-477, 2019. DOI: 10.14393/RCG207043418. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/43418>. Acesso em: 28 jun. 2026.

CPTEC/INPE. **Tábua das Marés** - Porto de Belém-PA (março/2010). Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/mares/index.php?cod=10520&mes=03&ano=10>. Acesso em: 11 dez. 2025.

FREITAS, K. M. **Água para consumo humano: uma realidade de carência para comunidades da região insular de Belém - PA**. Conferência: I Congresso Virtual de Estudantes e Profissionais de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2020. DOI: 10.29327/ConVEPEAS.270935. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347314935_AGUA_PARA_CONSUMO_HUMAN_O_UMA_REALIDADE_DE_CARENCIA_PARA_COMUNIDADES_DA_REGIAO_INSULAR_DE_BELEM_-_PA. Acesso em: 28 jun. 2026.

FREITAS, M. G. et al. Vulnerabilidade socioambiental e saúde pública: uma análise das inundações em áreas urbanas. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 12, p. 3947-3955, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2016.v21n12/3947-3955/pt/>. Acesso em: 18 fev. 2026.

GOMES, P. H. S. et al. Aplicação de geotecnologias na determinação de espaços para estacionamento no bairro Batista Campos - Belém/PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 13., 2018, Florianópolis. **Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis: UFSC, 2018. Disponível em: <https://www.ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2018/paper/download/468/250>. Acesso em: 28 jun. 2026.

HELLEGATTE, S. et al. Future flood losses in major coastal cities. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 9, p. 802-806, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260701937_Future_flood_losses_in_major_coastal_cities. Acesso em: 27 ago. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Balanço: Belém-PA teve chuva acima da média em abril de 2023**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/balan%C3%A7o-bel%C3%A9m-pa-teve-chuva-acima-da-m%C3%A9dia-em-abril-de-2023>. Acesso em: 22 fev. 2026.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha de setores censitários: Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 29 jun. 2026.

IPCC. **Technical summary**. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/technical-summary/>. Acesso em: 21 fev. 2026.

IPHAN. **Belém (PA) – História**. 2025. JEVREJEVA, S. et al. Coastal sea level rise with warming above 2 °C. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 113, n. 47, p. 13342–13347, 2016. DOI:<https://doi.org/10.1073/pnas.1605312113>.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. **Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century**. Washington, DC: World Bank Publications, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272793713_Cities_and_Flooding_A_guide_to_integrated_urban_flood_risk_management_for_the_21st_Century. Acesso em: 27 ago. 2026.

KULP, S. A.; STRAUSS, B. H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 4844, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-12808-z>. Acesso em: 25 ago. 2026.

MAUÉS, Rogério Santana. **Belém, cidade das baixadas: um olhar sobre as condições de moradia em áreas úmidas**. 2022. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: https://www.academia.edu/129358785/Bel%C3%A9m_cidade_das_baixadas_um_olhar_sobre_as_condi%C3%A7%C3%B5es_de_moradia_em_%C3%A1reas_%C3%BAmidas. Acesso em: 18 fev. 2026.

MCGRANAHAN, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). A maré crescente: avaliando os riscos das mudanças climáticas e dos assentamentos humanos em zonas costeiras de baixa altitude. **Environment & Urbanization**, 19 (1), 17-37. <https://doi.org/10.1177/0956247807076960>.

MENDES, B.; PINHEIRO, A. Gestão urbana e dinâmica hídrica na Amazônia estuarina. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 1, 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/20575/11354>. Acesso em: 18 fev. 2026.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Pará - Municípios da Zona Costeira**. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/informma/item/10592-lista_munic%C3%ADpios-da-zona-costeira.html. Acesso em: 19 nov. 2025.

MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. **Encontros: Amazônia ontem e hoje**. Belém: MPEG, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/museugoeldi/pt-br/a-instituicao/difusao-cientifica/livros-digitais-1/encontros-amazonia-ontem-e-hoje-final.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2025.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). National Ocean Service. Is sea level rising? Ocean facts, Silver Spring, 2024. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/sealevel.html>. Acesso em: 8 dez. 2025.

PEREIRA, F. S. et al. Sustentabilidade e desigualdade socioambiental intramunicipal em Belém-Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 14, n. 1, 2018. Disponível em: <https://www.rbhdr.net/revista/index.php/rbhdr/article/download/4104/731/9025>. Acesso em: 29 jun. 2026.

POULTER, B.; HALPIN, P. N. Raster modelling of coastal flooding from sea-level rise. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 22, n. 2, p. 167-182, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/220649515_Raster_Modelling_of_Coastal_Flooding_from_Sea_Level_Rise. Acesso em: 27 ago. 2026.

SANDERS, Brett F.; WING, Oliver E. J.; BATES, Paul D. Flooding is not like filling a bath. *Earth's Future*, v. 12, n. 12, p. e2024EF005164, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1029/2024EF005164>.

SANTIAGO, Alailson V. et al. Variabilidade e intensidade das chuvas em Belém-PA. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153371>. Acesso em: 2 set. 2026.

SANTOS, J.; OLIVEIRA, R. Refugiados climáticos e a urgência de adaptação nas metrópoles costeiras. In: **Anais do MOEPEX**, 2025. Disponível em: <https://eventos.ifrs.edu.br/index.php/moepepxviamao/evento2025/paper/viewPaper/19751>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SCHMID, K.; HADLEY, B.; WATERS, K. Mapping and Portraying Inundation Uncertainty of Bathtub-Type Models. **Journal of Coastal Research**, v. 30, n. 3, p. 548-561, 2014. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-13-00118.1. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262687419_Mapping_and_Portraying_Inundation_Uncertainty_of_Bathtub-Type_Models. Acesso em: 28 jun. 2026.

SILVA, A. F. et al. **Impactos socioeconômicos das mudanças climáticas e vulnerabilidade urbana**. 2025. Disponível em: <https://adelphaapi.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/edf79de6-bdcb-4741-b887-ab4ec616dfdb/content>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SILVA, Christian Nunes da; SOMBRA, Daniel; OLIVEIRA NETO, Adolfo da Costa (org.). **Geoinformação e análises socioambientais**. Belém: GAPTA/UFPA, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368248124_Geoinformacao_e_analises_socioambientais. Acesso em: 25 ago. 2026.

SIQUEIRA, H. E. et al. Análise da dinâmica hídrica e os impactos dos canais urbanos em áreas vulneráveis a inundações. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e353101220575, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20575>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/19159>. Acesso em: 24 ago. 2026.

SOUZA JÚNIOR, José A. de et al. Estudo do comportamento da temperatura e precipitação nos períodos chuvosos e menos chuvosos em Belém-PA em anos de fortes eventos de El Niño

e La Niña. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 5, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v5i0.50479>.

TEBBALDI, C. et al. Extreme sea levels at different levels of global warming. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 7, p. 074011, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf0b2>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2752-5295/ac6e7d/pdf>. Acesso em: 24 ago. 2026.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Juan-Bertoni/publication/266883894_INUNDACOES_URBANAS_NA_AMERICA_DO_SUL/links/56b352cd08ae3d06a26644e2/INUNDACOES-URBANAS-NA-AMERICA-DO-SUL.pdf. Acesso em: 28 jun. 2026. .

VIEIRA, Bruno Soeiro. **Verticalização imobiliária e controle do uso e da apropriação do espaço urbano em Belém**. 2016. 175 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: <https://ppgdstu.prospesp.ufpa.br/ARQUIVOS/BRUNOSOEIROVIEIRA.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2026.

VITOUSEK, S.; BARNARD, P.; FLETCHER, C. H. et al. Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1399, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-01362-7. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317006904_Doubling_of_coastal_flooding_frequency_within_decades_due_to_sea-level_rise. Acesso em: 28 jun. 2026.

WARD, P. J. et al. Dependence between high sea-level and high river discharge increases flood hazard in global deltas and estuaries. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 8, p. 084012, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326481457_Dependence_between_high_sea-level_and_high_river_discharge_increases_flood_hazard_in_global_deltas_and_estuaries. Acesso em: 27 ago. 2026

NOTAS

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito: Todas os autores contribuíram de maneira equivalente

Coleta de dados: Todas os autores contribuíram de maneira equivalente

Análise de dados: Todas os autores contribuíram de maneira equivalente

Discussão dos resultados: Todas os autores contribuíram de maneira equivalente

Revisão e aprovação: J. A. Costa

PREPRINTS

O manuscrito não é um preprint.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente a Deus, pela força, inspiração e pela oportunidade de concluir este trabalho. Expresso minha sincera gratidão ao professor Dr. Jamer Andrade da Costa, pela orientação, dedicação e valiosas contribuições ao longo deste percurso. Aos colegas, pelo apoio, incentivo e pela parceria constante, que tornaram esta jornada mais leve e enriquecedora.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PESQUISA E OUTROS MATERIAIS

Os dados foram publicados no próprio artigo. Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está incluído no corpo do artigo.

ANUÊNCIA DE AVALIAÇÃO ABERTA

Sim.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.