

Resiliência urbana apoiada em tecnologia na gestão e prevenção de desastres

Luciana Nemer

Professora, Doutora em Engenharia da Produção
Universidade Federal Fluminense, Brasil
luciananemeriniz@gmail.com
ORCID iD 0000-0003-0106-3292

Mariana de Melo Costa

Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal Fluminense, Brasil
marianamelocosta@id.uff.br
ORCID iD 0000-0002-8812-4854

Felipe Gustavo Silva

Doutorando em Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal Fluminense, Brasil
felipegustavosilva@outlook.com
ORCID iD 0000-0001-6470-1760

1

Submissão: 03/04/2025

Aceite: 15/08/2025

NEMER, Luciana; COSTA , Mariana de Melo; SILVA, Felipe Gustavo. Resiliência urbana apoiada em tecnologia na gestão e prevenção de desastres. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, [S. l.], v. 22, n. 1, p. e2510, 2026. DOI: [10.17271/1980082722120266219](https://doi.org/10.17271/1980082722120266219). Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/6219
Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Resiliência urbana apoiada em tecnologia na gestão e prevenção de desastres

RESUMO

Objetivo - Investigar de que maneira a resiliência urbana pode ser fortalecida na gestão e na prevenção de desastres ambientais, com foco na aplicação do City Information Modeling (CIM) e de tecnologias.

Metodologia - Abordagem qualitativa, baseada em revisão de literatura, estudo de caso e estudo comparativo. São analisados dois desastres ocorridos no Brasil, sendo as enchentes de 2024 em Porto Alegre e o afundamento do solo em Maceió associado à mineração de sal-gema, em diálogo com experiências internacionais em Veneza e Helsinque.

Originalidade/relevância - O estudo insere-se em um campo ainda pouco explorado no Brasil ao articular tecnologias digitais, resiliência urbana e mitigação de desastres, contribuindo para o debate acadêmico sobre o uso do CIM como ferramenta estratégica na gestão de riscos urbanos.

Resultados - Os resultados indicam que o fortalecimento da resiliência urbana depende da integração entre tecnologias de modelagem da informação urbana, estruturas de governança eficientes e participação comunitária, evidenciando limitações relacionadas à escassez de investimentos e à falta de capacitação técnica.

Contribuições teóricas/metodológicas - O artigo amplia a compreensão sobre o potencial do CIM como instrumento de apoio à análise, prevenção e gestão de desastres, oferecendo subsídios para aplicação em contextos urbanos.

Contribuições sociais e ambientais - Os achados destacam o papel das tecnologias digitais na redução de impactos socioambientais, no apoio à formulação de políticas públicas e no fortalecimento de estratégias de gestão urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Resiliência Urbana. City Information Modeling (CIM). Desastres Ambientais.

Urban resilience supported by technology in disaster management and prevention

ABSTRACT

Objective – To investigate how urban resilience can be strengthened in disaster management and prevention, focusing on the application of City Information Modeling (CIM) and digital technologies.

Methodology – Adopts a qualitative approach based on a literature review, case study, and comparative analysis. It examines two disasters in Brazil, the 2024 floods in Porto Alegre and the ground subsidence in Maceió caused by rock salt mining, alongside international experiences in Venice and Helsinki.

Originality/Relevance – The research addresses a theoretical gap in the Brazilian context by integrating digital technologies, urban resilience, and disaster mitigation, contributing to academic discussions on the strategic role of CIM in urban risk management.

Results – The findings indicate that urban resilience relies on the integration of information modeling technologies, effective governance structures, and community participation, while also revealing challenges related to limited investment and insufficient technical capacity.

Theoretical/Methodological Contributions – The article advances the understanding of CIM as a support tool for disaster analysis, prevention, and management, providing insights for its application in urban environments.

Social and Environmental Contributions – The results highlight the potential of digital technologies to reduce socio-environmental impacts, support public policy formulation, and strengthen management strategies.

KEYWORDS: Urban Resilience. City Information Modeling (CIM). Environmental Disasters.

2

Resiliencia urbana apoyada en tecnología en la gestión y prevención de desastres

RESUMEN

Objetivo – Investigar de qué manera la resiliencia urbana puede fortalecerse en la gestión y prevención de desastres ambientales, con énfasis en la aplicación del City Information Modeling (CIM) y de tecnologías digitales.

Metodología – La investigación adopta un enfoque cualitativo, basado en revisión de literatura, estudio de caso y análisis comparativo. Se analizan dos desastres ocurridos en Brasil, las inundaciones de 2024 en Porto Alegre y el

hundimiento del suelo en Maceió asociado a la minería de sal gema, en diálogo con experiencias internacionales en Venecia y Helsinki.

Originalidad/Relevancia – El estudio se inserta en un campo aún poco explorado en Brasil al articular tecnologías digitales, resiliencia urbana y mitigación de desastres, contribuyendo al debate académico sobre el uso del CIM como herramienta estratégica para la gestión de riesgos urbanos.

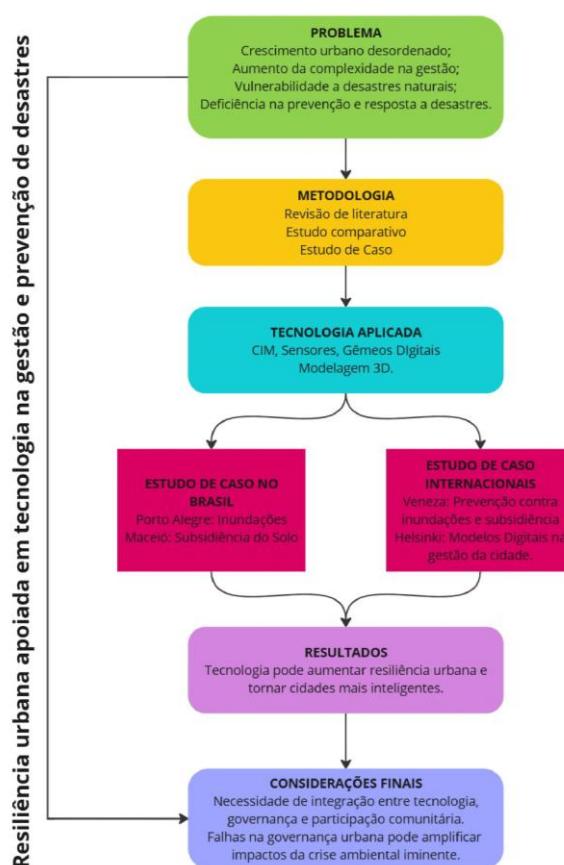
Resultados – Los resultados indican que el fortalecimiento de la resiliencia urbana depende de la integración entre tecnologías de modelado de información urbana, estructuras de gobernanza eficientes y participación comunitaria, evidenciando limitaciones relacionadas con la falta de inversión y de capacitación técnica.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – El artículo amplía la comprensión del potencial del CIM como instrumento de apoyo al análisis, la prevención y la gestión de desastres, aportando bases teóricas y metodológicas para su aplicación en contextos urbanos complejos.

Contribuciones Sociales y Ambientales – Los hallazgos destacan el papel de las tecnologías digitales en la reducción de impactos socioambientales, en el apoyo a la formulación de políticas públicas y en el fortalecimiento de estrategias de gestión urbana más resilientes y sostenibles.

PALABRAS CLAVE: Resiliencia Urbana. City Information Modeling (CIM). Desastres Ambientales.

RESUMO GRÁFICO



1 INTRODUÇÃO

Com a urbanização desenfreada, aliada às crescentes consequências das mudanças climáticas, surgiram inúmeros desafios relacionados ao planejamento urbano nas cidades. A fim de lidar com esse cenário, o conceito de resiliência tem atraído a atenção de pesquisadores em todo o mundo. Nesse contexto, o entrelaçamento entre resiliência urbana e novas tecnologias de informação apresenta-se como uma alternativa para os desafios enfrentados pelas cidades brasileiras, configurando uma possibilidade concreta de melhoria na mitigação dos efeitos de desastres naturais.

Grzegorzewski et al. (2023) ressaltam que o conceito de sustentabilidade extrapola a dimensão ambiental e, ao incorporar aspectos sociais, econômicos, espaciais e culturais, consolidados tanto na trajetória da sustentabilidade na arquitetura e no urbanismo quanto nas agendas globais de desenvolvimento urbano, como a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). As crises sanitárias ao longo da história urbana brasileira evidenciam, segundo Costa e Diniz (2021), que as fragilidades estruturais e a ausência de planejamento e gestão urbana ampliaram a vulnerabilidade das cidades às doenças. Na conjuntura atual, marcada por um contexto de crise urbana associado às mudanças climáticas, tais limitações intensificam a incapacidade de resposta e adaptação frente a situações críticas.

Para D. Serre et al. (2018), o uso prático do conceito de resiliência no contexto urbano assume relevância ao orientar reflexões e o desenvolvimento de novas ferramentas capazes de contribuir para o planejamento das cidades.

A fim de provocar uma discussão sobre essa integração no Brasil, o presente artigo propõe discutir o estado da arte sobre o conceito de resiliência e o uso do *City Information Modeling* (CIM) e de tecnologias de informação para a melhoria da infraestrutura urbana, tomando como referência as tragédias ocorridas em Porto Alegre e Maceió e comparando-as com a aplicação dessas tecnologias em Veneza e Helsinque.

4

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é investigar como a resiliência urbana pode ser fortalecida na gestão e prevenção de desastres ambientais, com foco no uso de CIM e outras tecnologias avançadas. Os objetivos específicos são: explorar o conceito de resiliência urbana no estado da arte atual; investigar os impactos dos desastres e a influência do conceito de resiliência urbana; explorar o conceito de resiliência urbana no estado da arte atual; analisar o contexto dos desastres naturais nas cidades de Porto Alegre e Maceió; e explorar o uso do CIM e tecnologias de informação como ferramenta de gestão urbana.

3 METODOLOGIA/ MÉTODO DE ANÁLISE

A metodologia adotada neste estudo combina três abordagens complementares: revisão bibliográfica, estudo de caso e comparativo de aplicações.

A revisão bibliográfica foi realizada com o objetivo de mapear o estado da arte sobre o conceito de resiliência urbana, sobre as tragédias em Porto Alegre e Maceió, e os casos de uso do CIM e de tecnologias de informação em Helsinque e Veneza e suas aplicações no contexto

de mitigação de desastres naturais. Para isso foram utilizados artigos acadêmicos, relatórios técnicos, além de identificar as lacunas existentes na literatura. O estudo de caso foi a segunda etapa metodológica adotada. Para essa análise, foram selecionados Porto Alegre e as inundações, Maceió com os refugiados urbanos da Braskem que enfrentaram desastres naturais recentes. E como contraponto, utilizamos os casos de Veneza e Helsinque e o uso do CIM e de tecnologias da informação para ilustrar as práticas de mitigação e as respostas locais a esses eventos. A terceira etapa metodológica consistiu na realização de um comparativo entre as práticas de mitigação de riscos adotadas entre as cidades citadas anteriormente, a fim de avaliar a eficácia das estratégias implementadas e identificar boas práticas passíveis de replicação em outros contextos urbanos. Os dados para a análise comparativa foram obtidos por meio de fontes secundárias, como estudos de caso publicados, relatórios de organizações internacionais, dados de instituições governamentais. A comparação permitiu identificar semelhanças e diferenças nas abordagens adotadas por cada cidade, destacando as estratégias mais bem-sucedidas e aquelas que necessitam de ajustes.

4 RESILIÊNCIA URBANA NA GESTÃO DAS CIDADES EM CENÁRIO DE DESASTRES “NATURAIS”

No contexto do desenvolvimento sustentável, a proteção dos territórios urbanizados contra desastres naturais devido ao agravamento das mudanças climáticas, é um dos pontos fundamentais das ações estratégicas promovidas pela Agenda 2030 com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A resposta aos desafios, na atualidade, frente aos desastres “naturais”, cuja capacidade ampliada é atribuída às ações humanas, são inúmeras e distintas. Fatores sociais, políticos e econômicos demandam dos homens envolvimento organizacional e científico que dão suporte a esses enfrentamentos. Se for realizada a avaliação em nível individual, adentra-se um campo igualmente complexo. Adaptar-se passa a ser condição para a sobrevivência, mas, segundo Rosoni (2020), do ponto de vista biológico, embora o significado de adaptação esteja intimamente relacionado à continuidade da vida, ser adaptável é mais do que simplesmente permanecer existindo.

O termo mais adequado para a questão do momento é, então, resiliência. Para Yunes (2003, p. 76) lembra que resiliência é frequentemente referida por processos que explicam a “superação” de crises e adversidades em indivíduos, grupos e organizações. Pela visão do organismo humano, onde fisiológico e psicológico atuam em conjunto, resiliência carrega o sentido de transcender, o que Russ (1991, p. 282) relaciona ao ato de superar.

A compreensão do conceito de resiliência se torna cada vez mais discutido e importante na preparação das cidades no tocante a desastres e eventos inesperados. Para Büyüközkan et al. (2021), a compreensão do conceito de resiliência se torna cada vez mais discutido e importante na preparação das cidades relacionado a desastres e eventos inesperados e, ao mesmo tempo, implica na adaptação e no ajuste às transformações. O que originalmente era associado a problemas causados por mudanças climáticas e na gestão de desastres, foi ampliado para a discussão de outros aspectos, focando na perspectiva social e ambiental da melhoria da resiliência das cidades. Sommese (2024) complementou:

A resiliência das cidades exige um planejamento proativo por meio da implementação de estratégias de adaptação, como o desenvolvimento de infraestrutura e políticas

que abordem os impactos e as consequências de um evento extremo [...] isso inclui, em particular, a construção de infraestrutura capaz de suportar enchentes, sistemas sustentáveis de gestão da água e a criação ou implementação de espaços verdes públicos acessíveis.

4.1 Resiliência das cidades frente aos desastres

A reconstrução, nem sempre possível, de áreas degradadas oriundas de desastres naturais envolve questões relacionadas à infraestrutura urbana (pavimentação, coleta de lixo, captação de esgoto e drenagem), mas também à preservação das estruturas remanescentes e a construção de novas. Ao mesmo tempo, frente ao histórico do desastre ocorrido, há a demanda por construção de novas habitações, visto que o patrimônio particular também foi alvo do sinistro, nem sempre inesperado.

Esse equilíbrio entre o atendimento às demandas sociais e à habitação esbarra na necessidade de conservação das características ambientais anteriores existentes na área. Para as habitações reconstruídas, valem as premissas que as contemplam por elementos que respeitam a natureza, aprimoram as características básicas da construção (iluminação, ventilação e ambiente natural) através de soluções mais econômicas, sustentáveis e integradas com o entorno. A minimização dos impactos ambientais além de reduzir o consumo energético, leva a utilização dos recursos disponíveis na natureza (sol, vegetação, chuva e vento).

O conceito de pegada ecológica, de acordo com Grzegorzewski *et al.* (2023), se aplica à questão quando se dimensiona a sustentabilidade de forma mais objetiva, o quanto a população se apropria da produtividade da natureza e o quanto a restringe. No cálculo da pegada entram as áreas de cultivo, de pastagens, o carbono (representa a extensão de áreas florestais capazes de sequestrar emissões de CO₂), as florestas, as áreas construídas e os estoques pesqueiros, ou seja, usos e recursos que podem ser medidos em termos de área necessária para manter a produtividade biológica e relacionados à região atingida.

Conforme o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) os desastres brasileiros e suas relações com as mudanças climáticas, exacerbado “na intensificação da desigualdade socioeconômica, expondo as camadas mais pobres da sociedade a uma série de efeitos prejudiciais à saúde, à insegurança alimentar, ao déficit na renda, entre outros” (UNICEF, 2022).

Em 1988, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), atualmente composto por 195 países membros, entre eles o Brasil (Brasil, 2022). Neste âmbito a reunião de especialistas nas áreas de planeamento urbano, arquitetura, cidades inteligentes, políticas de mitigação/adaptação, segurança energética, segurança hídrica e saneamento, barreiras e condições facilitadoras para o financiamento climático urbano, seguros, cidades habitáveis, papel dos princípios normativos na governação, ciência, tecnologia e inovação para cidades sustentáveis vem gerando relatórios com o objetivo de fornecer aos formuladores de políticas avaliações científicas regulares sobre a mudança do clima, suas implicações e possíveis riscos futuros, bem como para propor adaptação e mitigação.

Apesar das transformações se percebe a característica de adaptação dos moradores às novas formas de acesso às novas áreas que habitam. No entanto, além de adaptação, em toda a região é nítida a resiliência. A resiliência - habilidade de uma substância retornar à sua forma original quando a pressão é removida – passa então a ser observada nos (as) moradores

(as) que se moldam a uma nova dinâmica dos bairros. No contexto da ecologia, a resiliência é a aptidão de um determinado sistema que lhe permite recuperar o equilíbrio depois de ter sofrido uma perturbação remetendo à capacidade de restauração do mesmo. Por este ponto de vista, acredita-se que nas regiões degradadas já se vislumbram sinais de superação e ressurgimento.

4.2 Resiliência Urbana e os Determinantes Sociais de Saúde

As determinantes sociais de saúde, conforme definidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), são aspectos fundamentais para a construção da resiliência urbana. As determinantes sociais de saúde são as condições nas quais as pessoas nascem, crescem, vivem, trabalham e envelhecem, e essas condições são moldadas por fatores econômicos, políticos e sociais que afetam diretamente o bem-estar das populações. A OMS lista várias determinantes sociais de saúde, como educação, emprego, condições de trabalho, moradia, acesso a cuidados de saúde, segurança social, e o ambiente social e físico das comunidades. Esses fatores desempenham um papel crítico na saúde das populações, afetando sua capacidade de lidar com estresses e crises, e são essenciais para a construção de uma resiliência urbana (OMS, 2011).

A relação entre resiliência urbana e determinantes sociais de saúde pode ser vista de maneira clara quando se observa que as desigualdades sociais e econômicas contribuem diretamente para a vulnerabilidade das populações em situações de crise. Em áreas de alta vulnerabilidade social, as condições de moradia precárias, a falta de acesso a serviços de saúde de qualidade, a segregação social e a falta de infraestruturas adequadas tornam as comunidades mais suscetíveis a desastres naturais, epidemias e outras emergências. A escassez de recursos e oportunidades limita a capacidade de adaptação e recuperação dessas comunidades, tornando-as mais dependentes de assistência externa e mais difíceis de integrar em processos de recuperação e desenvolvimento sustentável.

Para entender a melhoria necessária nesses locais, foram anunciados pela ONU-HABITAT e OMS, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com metas para a modernização das favelas e o reconhecimento de que a redução da desigualdade exigirá atenção às condições ambientais e sociais que mantêm esses moradores em entornos insalubres, deficientes e sujeitos à mortalidade prematura (OMS; ONU-HABITAT, 2016). Para isso, foram criados os Determinantes Sociais de Saúde (DSS) que são fatores externos aos cuidados médicos que moldam os resultados de saúde, como habitação segura, acesso aos alimentos, direitos políticos e de gênero, educação e acesso a emprego (DE SNYDER et al., 2011).

7

5 AS TRAGÉDIAS E RESILIÊNCIA

A cidade de Porto Alegre, localizada às margens da bacia do Guaíba, e o bairro Mutange, situado próximo à lagoa de Mandaú, em Maceió, têm enfrentado impactos significativos decorrentes de desastres ambientais nos últimos anos. As enchentes no Rio Grande do Sul em 2024, entre o final de abril e início de maio de 2024, foram classificadas pelo governo gaúcho, como "a maior catástrofe climática" da história do estado (Sias, 2024). No segundo, um colapso de mina de sal-gema, ocorrido em 10 de dezembro de 2023, provocou o afundamento do solo e a abertura de uma cratera na lagoa Mundaú. Esses eventos, intensificados pelas mudanças climáticas, agravados por falhas na gestão pública e por práticas

irresponsáveis de empresas, evidenciaram a fragilidade das infraestruturas urbanas e a necessidade urgente de ações eficazes para mitigar riscos e promover a resiliência dessas áreas.

5.1 As inundações em Porto Alegre

A cidade de Porto Alegre, ao longo de sua existência, teve relação com o Guaíba marcada por tensões. As recorrentes cheias registradas ao longo da história, como as de 1873, 1889, 1897, 1905, 1912, 1914, 1916, 1928 e 1936, evidenciaram a vulnerabilidade da região às variações fluviais do sistema hidrográfico do delta do Jacuí (Devos, 2007). Essas inundações, geralmente associadas a períodos de chuvas intensas e fluxos elevados nos rios, revelam padrões hidrológicos críticos que desafiaram as estratégias de adaptação adotadas pela cidade.

Figura 1 – Vista aérea de ruas inundadas em Porto Alegre (RS) após tempestades atingirem o Rio Grande do Sul



8

Fonte: Carlos FABAL/AFP, 2024. Disponível em: rebrand.ly/agenciaestado20240506. Acesso em: 12 nov. 2024.

A enchente de 2024 revelou fragilidades no sistema de contenção de inundações, gerando prejuízos econômicos e sociais significativos, além de apontar para a necessidade urgente de manutenção e modernização das infraestruturas portuárias e de saneamento. O Rio Grande do Sul experimentou chuvas fortes e contínuas por mais de 10 dias a partir de 27 de abril de 2024, sobrecarregando as bacias hidrográficas locais, as dos rios Taquari, Caí, Pardo, Jacuí, Sinos e Gravataí. Essas chuvas foram intensificadas pelo fenômeno climático El Niño, que aquece o Oceano Pacífico acima da média histórica, resultando em volumes de chuva acima do normal. O nível do Guaíba subiu rapidamente, ultrapassando a cota de inundaçao e batendo recordes históricos, atingindo 5,33 metros em 5 de maio de 2024 (Heinzelmann, 2024). Mesmo com a presença do Muro da Mauá, a cidade sofreu inundações devido a problemas em outros componentes do sistema de contenção de enchentes, permitindo que a água invadisse a cidade.

A Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) havia determinado o racionamento de água e restringido o uso do recurso na capital gaúcha. O prefeito Sebastião Melo afirmou que a situação era necessária devido ao desligamento de uma estação de tratamento na tarde da segunda-feira, 06 de maio de 2024. Cerca de 80% da população estava desabastecida pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE).

A tragédia no Rio Grande do Sul deixou 85 mortos, segundo boletim da Defesa Civil. As autoridades contabilizaram 339 feridos, 134 desaparecidos, e mais de 201 mil pessoas estavam fora de casa, sendo 153.824 desalojados e 47.676 em abrigos públicos. As chuvas, que

provocaram inundações na maior parte do Rio Grande do Sul, colocaram 390 municípios em situação de emergência.

A falta de uma "memória ativa" da enchente de 1941 contribuiu para que a manutenção do sistema de proteção contra enchentes fosse negligenciada, através de "apagamento" da memória, comum em eventos traumáticos que ocorrem em intervalos longos, resultando em falhas nas comportas e nas casas de bombas durante a enchente de 2024. A "pós memória" da enchente de 1941, marcada por sensações e emoções transmitidas de forma fragmentada e não por narrativas completas, não foi suficiente para manter o alerta sobre a importância da prevenção e da manutenção do sistema de proteção (Heinzelmann, 2024).

Na região portuária da capital Rio Grandense, "os navios pararam de chegar, impactou no abastecimento de fertilizantes para a agricultura, no fornecimento de gás para Porto Alegre e a exportação de produtos químicos da Braskem, de granéis sólidos e líquidos de indústrias locais, ficou paralisada. A empresa recuperou o seu terminal privado e dragou com recursos próprios canais de acesso ao seu terminal" (Simões, 2024).

5.2 O caso da Braskem em Maceió

A Braskem, uma empresa surgida a partir da Organização Odebrecht, atualmente, a controlada pela Novonor (Braskem, 2025), atua em Maceió, onde o afundamento do solo sobre as minas subterrâneas de sal-gema vem se ampliando e obrigando o esvaziamento de áreas da capital de Alagoas. A Braskem é a responsável pela exploração dessas minas. "Desde que a mineração para extração de sal-gema realizada pela Braskem foi apontada como a principal causa do afundamento do solo de Maceió, um intenso trabalho foi iniciado para fechamento e estabilização de 35 minas na região do Mutange e de Bebedouro" (Braskem, 2025)

9

Figura 2 – Área antes habitada e hoje degradada pela movimentação do solo



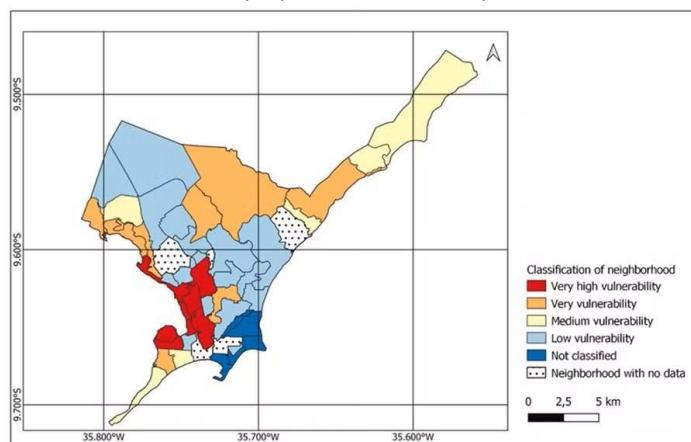
Fonte: Schmidt, 2024.

Além do bairro Mutange, os bairros de Bebedouro, Bom Parto, Farol, Gruta de Lourdes, Pinheiro, Ponta Grossa e Vergel do Lago viraram verdadeiros bairros fantasmas, onde a desocupação das regiões atingidas pelo afundamento do solo transforma áreas inteiras impactando economicamente, ambientalmente, socialmente, além de afetar diretamente na mobilidade urbana, que atravessava estas áreas.

A Defesa Civil delimitou que o processo de afundamento ocorreu em cinco bairros. A figura 2 é o retrato do necessário abandono das habitações e esvaziamento dos bairros. Os antigos moradores em suas saídas levaram além de seus pertencentes todo o material das construções que poderia ser reaproveitado: portas, janelas, portões, equipamentos sanitários, telhados e assoalhos, quando possível.

Segundo Rodrigues (2023), o Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA-AL) multou a Braskem em mais de R\$ 72 milhões por omissão de informações, danos ambientais e risco de colapso da Mina 18, sendo esta a 20ª multa aplicada à empresa. "A desocupação da área de risco foi concluída de forma proativa, com a realocação de cerca de 40 mil pessoas em quatro anos. Até o momento, 94% das indenizações foram pagas" (Braskem, 2025). No entanto, a reparação anunciada pela empresa vai além com a tarefa de solucionar a preservação do patrimônio histórico das áreas desocupadas, requalificar os novos espaços para convívio e contribuir para adaptação e melhoria da mobilidade urbana mitigando os impactos ambientais afetados pela subsidência.

Figura 3 – Bairros de Maceió que podem ser afetados pelo afundamento do solo



10

Fonte: Lenino *et al.* apud G1 Alagoas, 2024.

A academia já estudava a área, como o geólogo Marcos Harting da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) que informou o afundamento do solo em um metro entre os anos de 2016 e 2020, acrescentando que quanto mais próximo às minas, maior é o afundamento (Schmidt, 2024). De acordo com Vassileva et al. (2021, p. 1) a subsidência do solo causada por processos naturais ou antropogênicos afeta grandes áreas urbanas mundialmente e a formação de sumidouros e fraturas de infraestrutura se intensificaram em Maceió, desde o início de 2018.

Em sua pesquisa, Fontana et al. (2023) utiliza para o caso de Maceió um modelo composto por três etapas principais: definição do problema, gerenciamento de riscos e análise de decisão. Para tanto, utilizou-se o método Picture Fuzzy-Delphi para coleta de dados e elucidação do julgamento dos especialistas. Nos estudos de Harting a hipótese de baseou na reativação de fraturas como um mecanismo importante que leva à formação/propagação de inúmeras rachaduras na superfície. A investigação fornece uma melhor compreensão sobre a dinâmica de assentamento em salinas e seus campos de dissolução (Schmidt, 2024).

Dentre os produtos obtidos do trabalho realizado por pesquisadores de quatro universidades: Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Universidade Federal de Pernambuco

(UFPE), Universidade Federal do Piauí (UFPI) e Universidade de Brasília (UNB), o mapa a seguir apresenta uma análise de vulnerabilidade. De acordo com G1 Alagoas (2024) o trabalho divide os bairros em quatro níveis de vulnerabilidade: bairros mais vulneráveis, bairros vulneráveis, bairros com vulnerabilidade moderada e bairros com baixa vulnerabilidade e aponta o quanto outros bairros também podem ser afetados em termos ambientais, econômicos e sociais. Cerca de 14 mil imóveis já foram afetados.

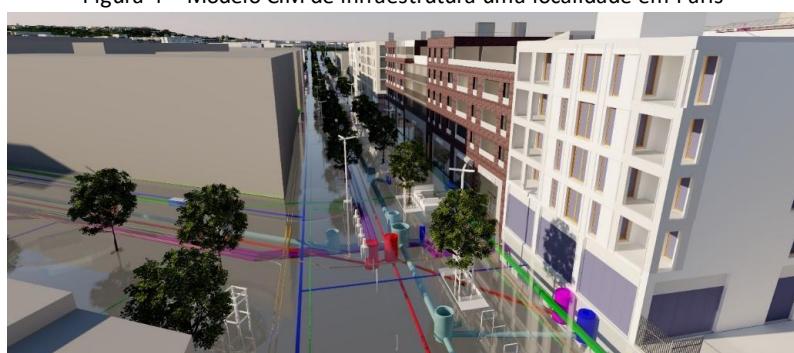
O trabalho de Lenivo et al. apud G1 Alagoas (2024) foi feito com base numa análise em Sistema de Informação Geográfica - Geographic Information System (GIS) - multicritério, que é uma abordagem que combina um sistema de informação geoespacial com método de apoio a decisão multicritério. O estudo através da plataforma proporciona visualizar e compreender espacialmente os problemas que vem ocorrendo, atuando como facilitador para análises e ações junto ao local. Como visto, a área apresenta vulnerabilidade socioeconômica e ambiental, conforme G1 Alagoas (2024) além dos bairros afetados diretamente pela mineração, outras regiões são afetadas ou têm risco de serem, principalmente por causa da migração dos cerca de 60 mil moradores que foram obrigados a deixar suas casas e se mudar para outras regiões.

6 CIM NA RESILIÊNCIA URBANA E EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS DE GESTÃO DAS CIDADES

O City Information Modeling (CIM), ou Modelagem da Informação da Cidade, é uma metodologia digital avançada que busca criar modelos detalhados e dinâmicos de ambientes urbanos. Este conceito integra dados de diversas fontes, como informações georreferenciadas, infraestruturas, redes de transporte, uso do solo e variáveis ambientais, proporcionando uma visão abrangente e sistemática das cidades. A abordagem é essencial para o planejamento e a gestão eficaz das cidades modernas (Lu et al., 2020). O CIM representa uma evolução do Building Information Modeling (BIM), que foca no nível de edifícios individuais, ampliando essa visão para um contexto urbano.

11

Figura 4 – Modelo CIM de infraestrutura uma localidade em Paris



Fonte: Arcadis ESG, 2019. Disponível em: <https://www.arcadis.com/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

Enquanto o BIM lida com o ciclo de vida de edificações, o CIM expande essa perspectiva para incluir ruas, redes de saneamento, áreas verdes e aspectos socioeconômicos e ambientais. Para isso, o CIM integra-se com GIS, que oferecem uma visão mais ampla e detalhada do território, facilitando a análise espacial e a tomada de decisões (Lopes, 2019). A combinação de CIM, BIM e GIS cria um sistema abrangente para a gestão urbana, onde o BIM introduz a integração de dados geométricos com análises de performance e manutenção de

edificações, e o GIS proporciona o suporte necessário para a análise de mudanças no uso do solo, tráfego e cobertura territorial. Essa integração resulta em um "gêmeo digital urbano", uma representação virtual detalhada de uma cidade, que pode ser utilizada para planejamento urbano, gestão de infraestruturas e otimização de processos operacionais.

O CIM se destaca por suas diversas aplicações no contexto urbano, funcionando como um banco de dados para governos em processos como a aprovação de licenças, supervisão de arquivos BIM e planejamento de novos projetos urbanos (Xia, 2022). Além disso, o CIM permite a coleta de dados precisos que auxiliam na inovação e transformação das cidades, promovendo melhorias contínuas no uso de recursos e na qualidade de vida (Lu, 2020).

Outra aplicação importante do CIM está na conservação do patrimônio histórico. A Heritage Building Information Modeling (HBIM) permite a criação de representações detalhadas para facilitar processos de revitalização e preservação, assegurando que os patrimônios culturais e arquitetônicos sejam mantidos ao longo do tempo, quando aliada ao CIM permite uma gestão integrada da paisagem cultural, agregando dados arquitetônicos e urbanísticos em um mesmo repositório de dados (Lu, 2020). A integração do CIM com outras tecnologias, como o sensoriamento remoto, a Internet das Coisas (IoT) e o big data, amplia ainda mais sua capacidade de monitoramento e análise, proporcionando dados em tempo real sobre as condições urbanas e facilitando a gestão eficiente de recursos.

As aplicações do CIM abrangem diversas áreas, desde o gerenciamento de emergências, como planejamento de rotas de evacuação; planejamento urbano, com o desenvolvimento de novas áreas; até gestão de infraestrutura, otimizando redes de transporte e saneamento (Rosa et al., 2023). A ferramenta também se destaca como grande aliada na previsão de riscos e mitigação de desastres naturais, como inundações e terremotos (Lu, 2020).

No que diz respeito à simulação de riscos e desastres, o CIM permite a execução de simulações multi-riscos, como terremotos, incêndios e ventos, tanto para edificações individuais quanto para áreas urbanas. A modelagem, integrada ao CIM, possibilita a simulação precisa desses eventos, considerando as características dos edifícios e os movimentos do solo, no caso dos terremotos. No caso dos incêndios, modelos baseados na física consideram fatores como as condições climáticas e a resistência ao fogo das construções. Para a simulação de ventos, são utilizados modelos de dinâmica de fluidos computacional (CFD), que simulam o comportamento do ar em diferentes condições, ajudando a visualizar cenários de risco, permitindo prever impactos sociais e econômicos, incluindo perdas de vidas e danos materiais, otimizando o planejamento de medidas preventivas e de resposta rápida (Xia, 2022).

Apesar de suas vantagens, o CIM enfrenta limitações, como a dependência da qualidade dos dados, dificuldades na interoperabilidade de sistemas e custos elevados de implementação, especialmente em cidades complexas e de países economicamente periféricos (Xia, 2022). Além disso, as simulações geradas nem sempre conseguem refletir a realidade com total precisão (Rosa et al., 2023), o que exige cautela na interpretação dos resultados.

6.1 Experiências internacionais CIM e tecnologias na gestão das cidades

Experiências internacionais evidenciam a relevância da inovação tecnológica no cuidado e gestão das cidades. Veneza, um exemplo emblemático, adota tecnologias como CIM, GIS, BIM, mapeamento digital e gêmeos digitais de forma integrada para enfrentar desafios

únicos, incluindo mudanças climáticas, o afundamento e a gestão do projeto MOSE (Galeazzo, 2023). Apesar desses avanços, o uso integrado dessas tecnologias ainda é relativamente recente e está em constante evolução, buscando aprimorar a eficácia e a aplicabilidade das soluções.

O gêmeo digital, *Digital Twin*, (DT) desempenha papel central nessa abordagem, funcionando como uma representação virtual da cidade que integra dados de diversas fontes para monitorar, prever e gerenciar sistemas complexos (Villani, 2025). Em Veneza, a utilização do DT é essencial para lidar com a fragilidade do patrimônio cultural e a complexidade da infraestrutura. A ferramenta permite simulações de cenários, análise de tráfego, consumo de energia e riscos ambientais. Dados coletados por sensores IoT, imagens de satélite e registros históricos oferecem uma visão abrangente e facilitam respostas rápidas a emergências e eventos inesperados. No núcleo deste DT encontra-se um script Python desenvolvido para converter dados geográficos e estruturais do *OpenStreetMap* (OSM) em um formato semanticamente enriquecido. Esse formato otimiza a integração em tempo real com o modelo digital dinâmico de Veneza. O script extrai informações essenciais da infraestrutura urbana, como estradas e edificações, e as converte para um *Resource Description Framework* (RDF), facilitando o processamento semântico e a interoperabilidade dos dados (Extract Project, 2025).

Figura 5 – Gêmeo Digital da cidade de Veneza



Fonte: Extract Project, 2025.

13

O uso do BIM é outro componente essencial para a preservação e manutenção do patrimônio em Veneza. Modelos tridimensionais detalhados de edifícios e infraestruturas incorporam informações sobre materiais, sistemas e características físicas (Villani, 2025). Esses modelos, exportados em formato IFC, favorecem a colaboração entre equipes de projeto e são integrados ao DT para análise e visualização.

Além disso, o GIS possibilita o mapeamento e a análise de dados geográficos, gerando mapas interativos que ajudam no planejamento urbano e na proteção do patrimônio cultural (Galeazzo, 2023). Técnicas de mapeamento digital, como levantamentos fotogramétricos e a laser, complementam o conjunto de ferramentas tecnológicas, oferecendo medições precisas de estruturas, incluindo aquelas submersas ou danificadas (Galeazzo, 2023).

Figura 6 – Inundação em Veneza



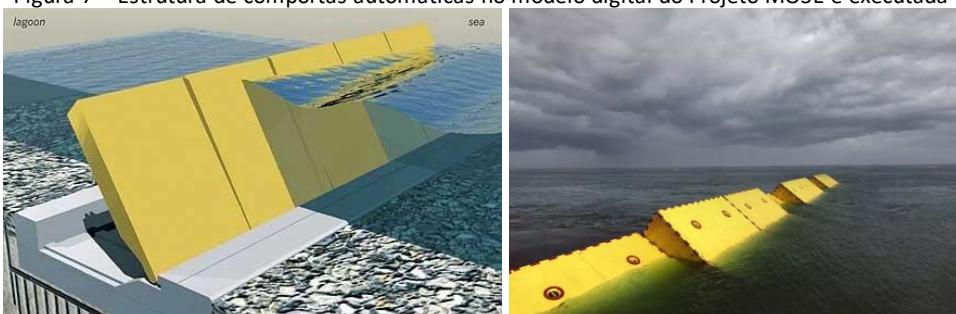
Fonte: Habitability, 2024. Disponível em: <https://habitability.com.br/projeto-mose/>. Acesso em: 15 jan.2025.

A integração de ferramentas como o HGIS, por meio do projeto VeNiss, permite mapear e analisar a evolução histórica de Veneza em aspectos urbanos, sociais e culturais, destacando a relação entre a cidade e sua paisagem aquática. Essa análise contribui para a compreensão do contexto histórico e para a formulação de estratégias de preservação e desenvolvimento.

Veneza enfrenta, ainda, os impactos das mudanças climáticas, como o aumento do nível do mar e eventos climáticos extremos (Villani, 2025). O DT atua no monitoramento e na previsão desses fenômenos, auxiliando na mitigação de riscos. Dados de satélite, como os do programa Copernicus, indicam um deslocamento médio de 2 mm/ano em direção ao sudoeste, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo. Além disso, o DT também avalia riscos ambientais e monitora áreas vulneráveis, como incêndios e inundações.

14

Figura 7 – Estrutura de comportas automáticas no modelo digital do Projeto MOSE e executada



Fonte: Villani, 2025; Habitability, 2024. Disponível em: <https://habitability.com.br/projeto-mose/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

O projeto MOSE, sistema de barreiras móveis destinado a proteger Veneza de inundações, é otimizado com o suporte do DT. A ferramenta analisa dados em tempo real para prever a necessidade de ativação das barreiras, minimizando os impactos das enchentes. O uso frequente do sistema, como observado em 2023, ressalta a pressão enfrentada pela infraestrutura (Maggi, 2024).

Apesar do progresso alcançado, a aplicação integrada dessas tecnologias em Veneza ainda é recente e apresenta desafios para consolidar um modelo plenamente funcional. A integração de dados e sistemas, viabilizada pelo DT, constitui o alicerce de uma gestão urbana

eficiente e sustentável. Ao reunir informações de sensores IoT, imagens de satélite e registros históricos, Veneza constrói uma abordagem holística para enfrentar seus desafios. Esse modelo busca transformar a cidade em um ambiente mais resiliente, sustentável e tecnologicamente avançado, garantindo a preservação de seu patrimônio cultural e a melhoria da qualidade de vida para seus habitantes (Villani, 2025).

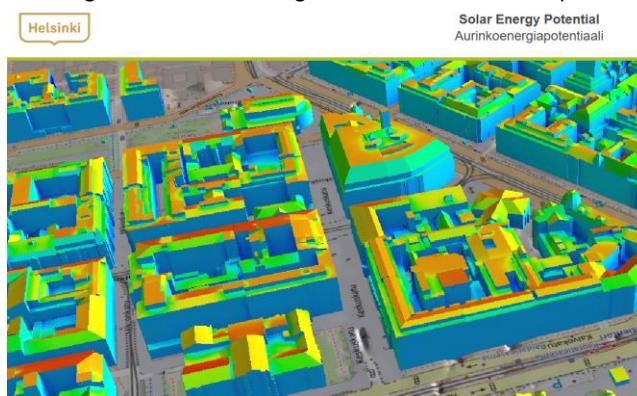
Outra experiência internacional interessante é o projeto Helsinki 3D+ é um exemplo de CIM em Helsinque, Finlândia. Com um orçamento de 1 milhão de euros, foi iniciado pela cidade com o objetivo de criar dois modelos 3D da área urbana, utilizando tecnologias inovadoras de captura de dados (Xu *et al.*, 2021). Entre os principais objetivos do projeto, destacam-se: promover o desenvolvimento de cidades inteligentes, estimular novos empreendimentos comerciais, colaborar com universidades em programas conjuntos e apoiar a tomada de decisões no planejamento urbano, abordando questões como o impacto de novos empreendimentos na luz solar de edifícios vizinhos (Geoweenk, 2021).

Para criar os modelos, Helsinque utilizou uma combinação de métodos avançados de captura 3D. Isso incluiu o uso de LiDAR aéreo para coleta de dados do terreno e da superfície, processados com os programas *Pointools* e *Terrasolid* da Bentley, além de 50.000 imagens oblíquas capturadas com câmera Microsoft Osprey, processadas com software Bentley ContextCapture em rede de 10 computadores (Xu *et al.*, 2021). O projeto também utilizou mais de 600 pontos de controle no terreno, resultando em uma precisão de pixel de 10 cm e uma precisão global do modelo de 20 cm +/- 10 cm (Geoweenk, 2021).

Além da malha detalhada de realidade, Helsinque criou um modelo CityGML inteligente, com o intuito de explorar diferentes usos possíveis dos dados brutos, uma vez que a cidade não tinha certeza das aplicações iniciais. Ambos os modelos foram disponibilizados gratuitamente para cidadãos e empresas privadas, além de apoiar diversos programas piloto em colaboração com universidades (Geoweenk News, 2021).

15

Figura 8 – Modelo Energético da cidade de Helsinque



Fonte: Cidade de Helsinque. Disponível em: <https://www.hel.fi/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

Os modelos CIM de Helsinque incluem: Um modelo de malha de alta qualidade visual, ideal para visualização em navegadores e dispositivos móveis e um modelo semântico baseado em CityGML, que permite realizar diversas análises, como consumo de energia, emissões de gases de efeito estufa e impactos ambientais do tráfego (Xu *et al.*, 2021).

A cidade se destaca pela abordagem aberta, permitindo a participação ativa dos cidadãos na coleta e utilização dos dados para várias aplicações, entre elas: a aplicação em jogos, como o Minecraft Helsinki, parques virtuais 3D, sistemas para modelagem de processos de manutenção, ferramentas para análises urbanas (indicadores de qualidade do espaço urbano, análise de CO₂/GEEs/emissões e potencial solar), plataformas de interação cidadã para o planejamento urbano e métodos de análise energética, em parceria com a Universidade Técnica de Munique, para alcançar metas energéticas (Geoweek News, 2021). Esses modelos são essenciais para entender e mitigar os efeitos das mudanças climáticas nas cidades. Helsinque, por exemplo, tem a meta de ser neutra em carbono até 2050, e o CIM auxilia na análise energética para atingir esses objetivos.

7 SINERGIA ENTRE O CIM E A RESILIÊNCIA URBANA (ANÁLISE ENTRE OS CASOS EXISTENTES E AS POSSIBILIDADES)

A implementação de soluções urbanas inspiradas nas experiências de Veneza e Helsinque em Porto Alegre e Maceió poderia trazer avanços relevantes para a gestão urbana, especialmente no enfrentamento de desafios das inundações, subsidência do solo e a deterioração de infraestruturas. A adoção de tecnologias e estratégias de planejamento integrado tem capacidade para a criação de ambientes urbanos com menor exposição a riscos, promovendo uma gestão mais inteligente, além de fortalecer a resiliência urbana.

Em Porto Alegre, a criação de um DT poderia transformar a forma como os níveis dos rios Guaíba e Jacuí são monitorados, possibilitando maior precisão na previsão de inundações e na otimização do funcionamento dos sistemas de drenagem. A integração de sensores IoT, imagens de satélite e dados históricos permitiria antecipar eventos climáticos extremos e direcionar ações preventivas para áreas críticas, como as Ilhas e o Quarto Distrito.

16

Em Maceió, um DT poderia desempenhar um papel fundamental no monitoramento da subsidência do solo, fenômeno que tem impactado bairros como Pinheiro e Mutange. A combinação de dados GIS, sensores IoT e imagens de satélite possibilitaria a identificação precoce de zonas de risco, viabilizando ações de mitigação e garantindo a realocação segura de moradores antes que colapsos estruturais ocorressem. A abordagem também possibilitaria a simulação de diferentes cenários futuros, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de adaptação e requalificação das áreas afetadas pela subsidência.

O HBIM em Porto Alegre, possibilitaria a modelagem tridimensional de edifícios históricos sujeitos a danos recorrentes por enchentes, como aqueles localizados no Centro Histórico. Essa modelagem permitiria uma análise da integridade estrutural desses imóveis, garantindo intervenções planejadas que preservem seu valor patrimonial sem comprometer sua funcionalidade e segurança, de maneira integrada à paisagem urbana. Em Maceió, o uso do BIM permitiria avaliar a estabilidade de edificações localizadas em áreas sujeitas à subsidência do solo, possibilitando medidas preventivas e a relocação segura da população exposta.

O emprego do GIS e de técnicas avançadas de mapeamento digital pode representar um salto na gestão territorial e no planejamento urbano das duas cidades. Em Porto Alegre, o GIS poderia ser utilizado para mapear com precisão as áreas mais vulneráveis a inundações, facilitando a identificação de pontos críticos e orientando a implementação de soluções, como

a ampliação de sistemas de drenagem e a criação de zonas de amortecimento. Em Maceió, o mapeamento digital permitiria uma compreensão mais aprofundada das áreas em risco de subsidência, fornecendo subsídios técnicos para estratégias de requalificação urbana que favoreçam uma ocupação ordenada e segura das regiões afetadas. A integração desses mapas a modelos tridimensionais interativos proporcionaria uma visualização mais clara das dinâmicas urbanas, auxiliando tomadores de decisão no planejamento de ações mais eficazes.

A interoperabilidade de dados, observada na experiência de Veneza, seria um interessante para a modernização da gestão urbana de ambas as cidades. O uso de scripts para converter e integrar dados geográficos e estruturais em formatos padronizados e semanticamente enriquecidos garantiria análises mais detalhadas e decisões mais fundamentadas. Em Maceió, a padronização e integração de dados sobre a subsidência do solo possibilitariam um planejamento mais preciso das intervenções necessárias, otimizando os recursos e os tempos de resposta para ações emergenciais. Em Porto Alegre, essa abordagem poderia aprimorar a operação de sistemas de drenagem, permitindo um acompanhamento contínuo das condições hidrológicas e estruturais da cidade.

A experiência de Helsinque com modelos tridimensionais urbanos também oferece ideias importantes para a gestão urbana de Porto Alegre e Maceió. Em Porto Alegre, a criação de modelos 3D detalhados auxiliaria na simulação do impacto de novas infraestruturas de drenagem, que precisam ser implementadas, e na avaliação da eficácia de medidas de adaptação climática. Em Maceió, o uso do CityGML poderia facilitar a análise de vulnerabilidades estruturais e apoiar o planejamento de intervenções em áreas de risco, garantindo que as soluções adotadas sejam viáveis do ponto de vista técnico e ambiental. Além disso, Helsinque utiliza o CIM para melhorar a qualidade de vida de seus habitantes, com foco em saúde pública, habitação e segurança. Essa abordagem poderia ser adaptada para Porto Alegre e Maceió, onde a modelagem de dados urbanos identificaria áreas carentes de infraestrutura básica, como saneamento, iluminação pública e transporte, e orientar políticas públicas que promovam a equidade social em áreas com necessidades específicas, como melhorias nas condições habitacionais, acesso a serviços de saúde e segurança pública na vida cotidiana dos cidadãos.

O incentivo à participação cidadã e ao uso de dados abertos, como ocorre em Helsinque, também poderia ser incorporado nas estratégias de planejamento urbano de Porto Alegre e Maceió. A disponibilização de dados sobre riscos urbanos e modelos tridimensionais interativos estimularia a participação ativa da população no processo de identificação de problemas e formulação de soluções, ampliando a transparência e a efetividade da ação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos desafios crescentes impostos pelas mudanças climáticas e pela intensificação dos desastres urbanos, a resiliência urbana emerge como um conceito central para a gestão inteligente das cidades. A análise dos casos de Porto Alegre e Maceió demonstra que os desastres ambientais não são eventos isolados, mas fenômenos complexos que exigem respostas estruturadas, alinhadas ao planejamento urbano e à participação social ativa.

A experiência internacional, evidenciada em estudos comparativos sobre os modelos adotados em cidades como Veneza e Helsinque, reforça a importância da incorporação de

tecnologias como CIM, BIM e GIS desempenhando um papel estratégico na prevenção e mitigação de riscos, garantindo maior eficiência nas ações de adaptação e recuperação urbana. A integração de metodologias e ferramentas digitais na gestão territorial aprimora as respostas a desastres, como também fortalece a capacidade adaptativa das políticas mitigatórias, tornando as cidades mais inclusivas e resilientes diante dos desafios do século XXI.

A adaptação dessas abordagens ao contexto brasileiro, respeitando as particularidades nacionais e locais, pode trazer benefícios significativos, na redução dos impactos socioeconômicos, a promoção de maior equidade na distribuição de infraestrutura e serviços essenciais e a construção de cidades mais preparadas para enfrentar adversidades. No entanto, é essencial superar a falta de investimentos em tecnologia, a carência de capacitação técnica e a necessidade de uma governança mais integrada e transparente.

Contudo, para que essa transformação seja consolidada, exige, portanto, uma mudança de paradigma, em que a resiliência urbana seja compreendida como um processo contínuo, que integre tecnologia, governança eficiente e comunitário. Além disso, é importante combater o negacionismo climático, especialmente no âmbito político, e enfrentar interesses corporativos que priorizam o lucro em detrimento da sustentabilidade, tratando indenizações como solução suficiente para os danos causados por imperícia ou desleixo.

9 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil.

18

10 REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC**, Min. Ciência, Tecnologias e Inovações, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- BRASKEM. **A Braskem**, 2025. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/>. Acesso em 21 jan. 2025.
- BÜYÜKÖZKAN, G. et al. A review of urban resilience literature. **Sustainable Cities and Society**, v. 77, p. 103579, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103579>. Acesso em: 18 jan. 2025.
- D. SERRE et al. Assessing and mapping urban resilience to floods with respect to cascading effects through critical infrastructure networks. **Int. J. Disas. Risk Reduct**, 2018.
- DE SNYDER, V. Nelly Salgado et al. Social conditions and urban health inequities: realities, challenges and opportunities to transform the urban landscape through research and action. **Journal of Urban Health**, v. 88, p. 1183-1193, 2011.
- DEVOS, R. A “questão ambiental” sob a ótica da antropologia dos grupos urbanos, nas ilhas do Parque Estadual Delta do Jacuí, Bairro Arquipélago, Porto Alegre, RS. Tese (Doutorado em Antropologia Social), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- GALEAZZO, Ludovica et al. A geospatial and time-based reconstruction of the Venetian Lagoon in a 3D web semantic infrastructure. **CEUR Workshop Proceedings**, 2023. Disponível em: <http://ceur-ws.org>. Acesso em: 24 jan. 2025.
- EXTRACT PROJECT. **Urban Safety and Efficiency**: A Digital Twin of Venice, 2025. Disponível em: <https://extract-project.eu/urban-safety-and-efficiency-a-digital-twin-of-venice/>. Acesso em: 12 jan. 2025.
- FONTANA, M. E. et al. Risk analysis os transport requalification projects in the mobility problem caused by a mining disaster. **Logistics**. 2023, v 7, n. 3. 04 set. 2023.

G1 Alagoas. **Estudo aponta bairros de Maceió que podem ser atingidos por afundamento do solo causado pela Braskem.** G1 Alagoas, 24 jan. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/al/alagoas/>. Acesso em: 24 jan. 2025.

COSTA, Mariana M.; DINIZ, Luciana N. Epidemics X Popular Housing in Rio de Janeiro: Analysis through the SWOT Matrix. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 17, n. 6, 2021. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/3068. Acesso em: 10 jan. 2026.

GRZEGORZEWSKI, Flávia C et al. Sustentabilidade: conceitos e aplicação na Arquitetura. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 19, n. 5, 2023. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/4723. Acesso em: 10 jan. 2026.

GEOEEK NEWS. **City model of the future**: Helsinki 3D+, 22 fev. 2017. Disponível em: <https://www.geoweenews.com/>. Acesso em: 24 jan. 2025.

HEINZELMANN, L. O Muro da Mauá e a memória das enchentes. **Jornal da Universidade**, Porto Alegre, 29 mai. 2024.

LOPES, Tiago Rocha. Modelagem de Informação da Cidade (CIM) e suas potencialidades para gestão da manutenção urbana de Curitiba. **Revista arq.urb.** N.25, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/18>. Acesso em: 15 jan. 2025.

LU, Xinzheng et al. CIM-powered multi-hazard simulation framework covering both individual buildings and urban areas. **Sustainability**, p. 5059, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12125059>. Acesso em: 25 jan. 2025.

MAGGI, Bruno. Living and adapting to climate change in coastal areas. A case study on citizens' perception of an infrastructure: the MOSE in Venice. **The Egyptian Journal of Environmental Change**, v.16, 2020.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Diminuindo diferenças**: a prática das políticas sobre determinantes sociais da saúde. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://cmdss2011.org/>. Acesso em: 19 jan. 2025.

19

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE; ONU-HABITAT. **Global report on urban health: Equitable, healthier cities for sustainable development**, 2016. <http://www.who.int/>. Acesso em: 19 jan. 2025.

RODRIGUES, Alex. **Afundamento do solo de mina em Maceió já passa de 2 m de profundidade**. Agência Brasil, Brasília, 08 dez 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-12/afundamento-do-solo-de-mina-em-maceio-ja-passa-de-2-m-de-profundidade>. Acesso em: 24 jan 2025.

ROSA, S. C. et al. Estado da arte da integração GIS x BIM no contexto das cidades inteligentes Análise do ecossistema de inovação de startups da construção civil cearense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023, Aracaju. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023.

ROSONI, Marcus. **Aumentando a sua capacidade de adaptação**, 2020. Disponível em: <https://ofuturodascoisas.com>. Acesso em 13 jan. 2025.

RUSS, Jaqueline. Dicionário de Filosofia. São Paulo: Editora Scipione, 1991.

SCHMIDT, Sarah. Solos de Maceió afundam há 20 anos. Revista Geociências – Pesquisa FAPESP, n. 335, jun. 2024. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/solos-de-maceio-afundam-ha-20-anos/>. Acesso em 24 jan. 2025.

SIAS, Estael. **Meteorologista estael sias e a chuva**: “a hora mais dramática”. Metsul, 02 mai 2024. Disponível em: <https://metsul.com/meteorologista-estael-sias-e-a-chuva-a-hora-mais-dramatica/>. Acesso em 22 jan 2025.

SIMÕES, José Bedran. A enchente e o porto de Porto Alegre. Entrevista concedida aos autores. Porto Alegre, 2024.

SOMMESE, Francesco. Nature-Based Solutions to Enhance Urban Resilience in the Climate Change and Post-Pandemic Era: A Taxonomy for the Built Environment. **Buildings**, p. 2190, 2024.

UNICEF - FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA. **Os desastres brasileiros e suas relações com as mudanças climáticas**, 2022. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/blog/os-desastres-brasileiros-e-suas-relacoes-com-mudancas-climaticas>. Acesso em: 20 jan. 2025.

VASSILEVA, M. *et al.* A decade-long silent ground subsidence hazard culminating in a metropolitan disaster in Maceió, Brazil. **Scientific Reports**, p. 7704, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87033-0>. Acesso em: 08 abr 2024.

VILLANI, L. *et al.* Digital Twin Framework to Improve Urban Sustainability and Resiliency: The Case Study of Venice. **Land**, p. 83, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land14010083>. Acesso em: 16 jan. 2025.

WWF - WORLD WILDLIFE FOUNDATION. Pegada brasileira, 2024. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/ especiais/pegada_ecologica/pegada_brasileira. Acesso em: 19 mar. 2024.

XIA, Haishan *et al.* Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design: A review and bibliometric analysis of geographic information system and building information modeling integration. **Sustainable Cities and Society**, p. 104009, set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104009>. Acesso em: 18 jan. 2025.

XU, Zhen *et al.* City information modeling: state of the art. **Applied Sciences**, v. 11, n. 19, p. 9333, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app11199333>. Acesso em: 24 jan. 2025.

YUNES, Maria A. Psicologia positiva e resiliência: o foco no indivíduo e na família. **Psicologia em Estudo**, v. 8, p. 75-84, 2003.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

- **Luciana Nemer:** Responsável pela concepção do estudo, atuou também na supervisão geral do desenvolvimento do artigo. Revisou criticamente o manuscrito, aprimorando a clareza e a coerência do texto, coordenando as atividades gerais da pesquisa e garantindo sua integridade e qualidade ao longo do processo. Foi corresponsável pelas seções teóricas que auxiliaram na discussão do artigo.
 - **Mariana de Melo Costa:** Contribuiu na revisão crítica do artigo, foi responsável pela redação da introdução e corresponsável pelas seções teóricas do artigo, além de corresponsável pela revisão e ajustes finais do texto, conforme as normas editoriais da revista e garantindo a qualidade final do trabalho.
 - **Felipe Gustavo Silva:** Foi responsável pelo estudo de caso comparativo e na análise dos casos para interpretar os resultados obtidos durante a pesquisa. Foi corresponsável pela revisão e edição final do manuscrito, ajustando o texto conforme as normas editoriais da revista e garantindo a qualidade final do trabalho.
-

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Luciana Nemer, Mariana de Melo Costa e Felipe Gustavo Silva**, declaramos que o artigo intitulado "**Resiliência urbana apoiada em tecnologia na gestão e prevenção de desastres**".

21

1. Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
 2. Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
 3. Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.
-