Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil:

Construção e Infraestrutura

Arthur Henrique Bach

Ferramenta de Priorização de Áreas de Risco para Execução de Planos de Mitigação de Desastres Hidrológico-Geotécnicos em Áreas Urbanas

Porto Alegre

2025

ARTHUR HENRIQUE BACH

FERRAMENTA DE PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO PARA EXECUÇÃO DE PLANOS DE MITIGAÇÃO DE DESASTRES HIDROLÓGICO - GEOTÉCNICOS EM ÁREAS URBANAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Prof. Ana Carolina Badalotti Passuello
PhD, Universitat Rovira i Virgili, Espanha.
Orientadora.

Prof. Luiz Antonio Bressani
PhD, Imperial college, Inglaterra.
Coorientador.

Porto Alegre
2025

ARTHUR HENRIQUE BACH

FERRAMENTA DE PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO PARA EXECUÇÃO DE PLANOS DE MITIGAÇÃO DE DESASTRES HIDROLÓGICOS-GEOTÉCNICOS EM ÁREAS URBANAS

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, área de pesquisa Sustentabilidade e Gestão de Riscos, e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre 24 de junho de 2025.

Prof. Ana Carolina Badalotti Passuello
PhD, Universitat Rovira I Virgili, Espanha
Orientadora

Prof. Luiz Antonio Bressani
PhD, Imperial college, Inglaterra
Coorientador

Prof. Lélio Brito
Coordenador PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alexandra C. Passuello (UFRGS)
PhD, Università Politécnica delle Marche, Itália.

Prof. Daniel T. Pagnussat (UFRGS)
PhD, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Eliseu J. Weber (UFRGS)
PhD, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

À minha família, pelo amor imensurável e incondicional.

AGRADECIMENTOS

À minha família. Aos meus pais, José e Vera, bases da minha vida e da minha educação, por acreditar na educação como um agente transformador da vida de seus filhos, por todo apoio e suporte concedido e pelas demonstrações de amor e carinho, que fizeram desta etapa mais harmoniosa. Estendo este agradecimento ao meu irmão Douglas e minha cunhada Carine, pelo incentivo e apoio; aos meus avós, Antônio e Maria, pelo suporte; e ao meu companheiro de vida, Filipi, pelo suporte, incentivo e pelo comprometimento em tornar este caminho mais tranquilo e aprazível.

Aos meus amigos. Em especial, Gabriel e Júlia, que me acompanharam nesta etapa, pelo incentivo e por vibrarem reciprocamente em todas as conquistas. Aos amigos que fiz percorrendo este caminho, pela ajuda mútua.

Aos meus orientadores do mestrado, Ana e Bressani, pelo comprometimento com a pesquisa científica e por compartilhar seus saberes para o beneficiamento deste trabalho. À banca examinadora da qualificação e defesa final, pela disponibilidade e considerações. Este agradecimento se estende a toda a equipe docente e profissional do PPGCI, pela dedicação em oferecer um ensino de qualidade; à equipe técnica do PMRR-POA, da qual tive honra de fazer parte, pelo compartilhamento de saberes; ao grupo de pesquisa LIfE Sustainability, pelas experiências compartilhadas; à CAPES e FIOCRUZ, pelo fomento a esta pesquisa; e à UFRGS, pelo zelo com a comunidade científico-acadêmica.

À Deus, à vida, aos caminhos abertos.

“É impossível para um homem aprender o que pensa que já sabe.”

Epicteto.

RESUMO

BACH, Arthur Henrique. **Ferramenta de Priorização de Áreas de Risco Para a Execução de Planos de Mitigação de Desastres Hidrológicos-Geotécnicos em Áreas Urbanas**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025.

O incremento em quantidade e intensidade de desastres devido às mudanças climáticas nos últimos anos tem se tornado um dos principais desafios para o planejamento urbano. São visíveis os prejuízos econômicos, sociais e ambientais provocados por desastres hidrológicos e geotécnicos. A cartografia social e hidrológica-geotécnica tem papel fundamental nesse contexto, por sintetizar em setores de risco as áreas com maior probabilidade de ocorrência de processos e a vulnerabilidade da população ao perigo. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta multicritério para priorização de áreas de risco alto, que possa ser utilizada por tomadores de decisão para execução de planos de mitigação de desastres, considerando os aspectos sociais, econômicos, de infraestrutura e físicos, em graus de prioridade, gerando um índice de priorização. Os critérios foram selecionados através de um grupo focal com especialistas das áreas de gestão de risco e tratados através de uma matriz matemática para definição de pesos em relação ao seu grau de importância. A ferramenta foi testada e validada em um estudo empírico nas áreas de risco de Porto Alegre/RS, o que possibilitou verificar que os processos hidrológicos, de inundações e enxurradas, resultaram em maiores índices de priorização nas áreas de risco do município, acusando a necessidade de atendimento prioritário pelo Poder Público em relação à execução de planos de mitigação destes desastres, o que expõe a realidade das áreas em acontecimentos recentes, como a inundação histórica de maio de 2024 na cidade. Os resultados apontam para maiores níveis de importância para os critérios voltados para as dimensões sociais, considerando os impactos de desastres na população local e sua vulnerabilidade social. Estes resultados mostram a importância do atendimento prioritário de áreas mais vulneráveis socioeconomicamente e com infraestruturas precárias, acusando a necessidade de um planejamento urbano sustentável e resiliente, que atenda igualmente a população através de medidas estruturais e não estruturais. A ferramenta de priorização, neste sentido, se mostra um instrumento capaz de auxiliar nesse processo, indicando caminhos críticos para a alocação de investimentos pelo Poder Público.

Palavras-chave: Planejamento urbano; sustentabilidade; gestão de riscos; priorização.

ABSTRACT

BACH, Arthur Henrique. **Risk Areas Prioritization Tool for Implementing Hydrological-Geological Disaster Mitigation Plans in Urban Areas**. 2024. Dissertation (Master's in Civil Engineering)—Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Engineering School, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

The increasing number and intensity of disasters due to climate change in the last years has become one of the main challenges for urban planning. The economic, social, and environmental losses caused by hydrological and geotechnical disasters are visible. Social and hydrological-geotechnical cartography plays a fundamental role in this context by identifying areas with a higher likelihood of hazardous events and the vulnerability of the population to hazards. This study aims to develop a multicriteria tool for prioritizing high-risk areas, which can support decision-makers in implementing disaster mitigation plans, considering social, economic, infrastructure, and physical aspects, generating a prioritization index based on different levels of priority. The criteria were selected through a focus group involving risk management experts and weighed using a mathematical matrix according to their relative importance. The tool was tested and validated through an empirical study in the risk areas of Porto Alegre/RS. The results indicated that hydrological processes, such as floods and flash floods, led to higher prioritization scores, highlighting the urgent need for government intervention in these areas, which exposes the reality of the areas in recent events, such as the historic flood of May 2024 in the city. The findings emphasize the greater relevance of social criteria, considering the impact of disasters on local populations and their social vulnerability. These results show the need for priority support to socioeconomically vulnerable areas with inadequate infrastructure, calling for sustainable and resilient urban planning, which equally serves the population through structural and non-structural measures. In this regard, the prioritization tool proves to be a valuable instrument for guiding government investment to mitigate hazards.

Keywords: Urban planning; sustainability; risk management; prioritization.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Ferramentas e respectivos métodos identificados. 49

Lista de Figuras

Figura 1 - Matriz Investimento x Risco. 30
Figura 2 - Dimensões das cidades sustentáveis. 35
Figura 3 - Características principais das cidades inteligentes. 38
Figura 4 - Etapas para construção de cidades mais resilientes. 40
Figura 5 - Modelo DROP - *Disaster Resilience of Place.* 41
Figura 6 - Gráfico da Resiliência a Multi Eventos 42
Figura 7 - Cenários de recuperação da qualidade de infraestruturas pós-eventos. 42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AHP – Processo Analítico Hierárquico, traduzido do inglês *Analytic Hierarchy Processes*

ANA – Agência Nacional das Águas

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CPRM – Serviço Geológico Brasileiro

GRD – Gestão de Riscos de Desastres

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MCDM – Tomada de Decisão Multicritério

MCID – Ministério das Cidades

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PDDEC – Plano Diretor de Defesa Civil

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre/RS

PMRR – Plano Municipal de Redução de Riscos

PMRR-POA - Plano Municipal de Redução de Riscos de Porto Alegre/RS

PNDEC – Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil

RiAPTool – *Risk Areas Prioritization Tool*, traduzido de Ferramenta de Priorização de Áreas de Risco

SINDEC – Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

SNP – Secretaria Nacional de Periferias

GLOSSÁRIO

Ameaça: evento perigoso com potencial de causar danos, onde há pessoas expostas;

Área de risco: locais/áreas demarcadas por mapas, nos quais existe exposição a eventos perigosos.

Dano: impacto potencial que um processo perigoso pode causar em um indivíduo, residência ou comunidade;

Desastre: Uma perturbação grave do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade, devido a eventos perigosos. Esta perturbação pode ser potencializada por condições de exposição, vulnerabilidade e baixa capacidade de resposta ou organização. Causa graves perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais.

Evento perigoso: fenômeno natural que pode causar danos, como deslizamentos, inundação e enxurradas;

Exposição: um grupo de pessoas, comunidades ou infraestruturas que podem ser atingidas por um evento perigoso, ou seja, estão na rota do deslizamento ou na área da inundação;

Gestão de riscos de desastres: é a aplicação de políticas e estratégias para prevenir novos desastres, reduzir os efeitos dos já existentes e gerir os danos e prejuízos residuais, contribuindo para o fortalecimento da resiliência e na redução das perdas por desastres. É estruturada em eixos estratégicos: identificação de perigos; delimitação das áreas de origem e as que podem ser afetadas; entendimento das fragilidades do meio físico e social; e antecipação das consequências.

Mitigação: Diminuição ou minimização dos impactos adversos de um evento perigoso / desastre.

Perigo (*'Hazard'*): É a probabilidade ou potencial de um processo perigoso causar danos materiais e/ou às vidas humanas.

Prejuízo: Resultado quantitativo/financeiro dos danos causados pelo evento perigoso;

Prevenção: Capacidades, técnicas, treinamentos e obras e recursos desenvolvidos e aplicados pelos indivíduos, comunidades e governo para se anteciparem e se prepararem para efeitos de possíveis desastres.

Resiliência: Capacidade dos sistemas sociais, econômicos e ambientais de lidar com um evento, tendência ou perturbação perigosa, respondendo ou reorganizando-se de forma a manter a sua função, identidade e estrutura essenciais, ao mesmo tempo que mantém a capacidade de adaptação, aprendizagem e transformação.

Resposta: Ações tomadas durante ou imediatamente após uma ocorrência de eventos perigosos com o intuito de reduzir danos, refazendo linhas de comunicação, energia, abastecimento de água e tráfego, e garantir segurança e subsistência aos afetados.

Risco: Probabilidade de um dano ou prejuízo acontecer (perda de vidas, ferimentos e a destruição ou danificação de bens) em um dado período. É determinado em função do perigo, incluindo a exposição e a vulnerabilidade, e capacidade organizacional.

Suscetibilidade: áreas com potencial natural para deslizamentos de terra ou inundações; a suscetibilidade pode ser induzida pelo uso da terra, como cortes e aterros;

Vulnerabilidade: quantificação da possibilidade de sofrer danos, associada a um tipo de evento perigoso. Pode ser vulnerabilidade social, econômica e/ou física;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
1.1 JUSTIFICATIVA 17
1.2 CONTEXTO DA PESQUISA 18
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA 20
1.4 QUESTÃO DE PESQUISA 21
1.5 OBJETIVOS 21
1.6 DELIMITAÇÕES 22
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO 22
2 O PLANEJAMENTO URBANO E A GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES 24
2.1 GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES 24
2.1.1 Risco, Perigo e Vulnerabilidades 24
2.1.2 Ações e a Capacidade do Estado na Gestão de Risco 27
2.1.3 Mitigação de Desastres 31
2.2 PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL, INTELIGENTE E RESILIENTE 34
2.2.1 Cidades Sustentáveis 34
2.2.2 Cidades Inteligentes 36
2.2.3 Cidades Resilientes 38
2.2.4 Semelhanças no Enfrentamento a Desastres 43
2.3 REVISÃO DE FERRAMENTAS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO 44

1 INTRODUÇÃO

O aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos vem se tornando um desafio para as grandes cidades, devido aos seus impactos sociais, econômicos e ambientais**.** O assunto se tornou pauta de agendas como o Marco de Sendai para a Redução de Riscos e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, especialmente o objetivo 11, de tornar as cidades e as comunidades sustentáveis e resilientes (ONU, 2015).

Segundo o CEMADEN (2023), eventos registrados em 2023 no Brasil representam danos materiais estimados em 2,87 bilhões de reais em prejuízos em obras públicas, 13,64 bilhões em prejuízos na economia do setor privado e 11,26 bilhões no setor público. Além disso, danos humanos inestimáveis, como 132 mortes, 9 mil feridos e mais de 500 mil pessoas desalojadas. Já os números da catástrofe climática ocorrida no Rio Grande do Sul em maio de 2024, segundo a Defesa Civil (2024), representam valores equiparados aos do ano de 2023 em nível nacional: 182 mortes, 806 feridos, em torno de 775 mil pessoas desabrigadas ou desalojadas, cerca de 2,4 milhões de pessoas afetadas e 10,4 bilhões em prejuízos registrados pelos municípios. O evento ocorreu em uma região de elevada densidade populacional, abrangendo a região metropolitana de Porto Alegre.

São visíveis os prejuízos econômicos e sociais nos grandes centros urbanos, especialmente ao se tratar de áreas de vulnerabilidade social. Estas áreas são mais suscetíveis a ações que prejudiquem o meio físico, considerando a ausência governamental no fornecimento de infraestrutura adequada (Reckien et al, 2017). Sabe-se que a grande parte dos eventos que envolvem condicionantes climáticos não pode ser evitada, todavia, é necessário identificar padrões comportamentais para que se possam criar métodos preventivos com o propósito de reduzir os prejuízos destrutivos destes eventos (Alcántara-Ayala, 2002).

Diante desse contexto, é necessário que as cidades possuam meios eficazes e práticos para mapeamento das áreas de maior suscetibilidade a riscos (Magalhães; Thiago; Agrizzi, 2011]). Um desses métodos é o uso das Cartas Geotécnicas, que têm como objetivo principal contribuir para a redução de desastres, servindo como ferramenta para prevenção, através do incentivo do seu uso no planejamento urbano (Bressani; Costa, 2015). Este instrumento compõe a análise de risco, que busca correlacionar a probabilidade de eventos futuros com a estimativa de danos potenciais (Marcelino; Nunes; Kobiyama, 2006).

De acordo com o Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial, os processos para análise, ao se tratar de riscos geológicos, são as movimentações de massa, os processos hidrogeológicos e as erosões hídricas. Os métodos e procedimentos compreendem levantamentos, fotointerpretação e análise em campo. A classificação das áreas se dá pelo grau de probabilidade, podendo ser baixo (R1), médio (R2), alto (R3) ou muito alto (R4), sendo estes níveis usados para a setorização de áreas de risco (Lana, 2021).

A partir dos mapeamentos de risco, é possível elaborar medidas de prevenção e planos de priorização, estimar prejuízos e preveni-los em ações conjuntas entre a comunidade e o poder público. Estas medidas estão associadas à identificação das áreas com maior potencial de serem afetadas, onde são hierarquizados os cenários de risco (Marcelino; Nunes; Kobiyama, 2006). Os principais agentes nesse processo são a população e o Poder Público. É preciso realçar o papel educativo que a elaboração das cartas geotécnicas pode ter na sociedade e este processo deve ser incentivado como forma de transformação e ocupação do meio físico (Bressani; Costa, 2015). Estas ações podem ser traçadas a partir de intervenções estruturais (obras de infraestrutura) e não estruturais (educação preventiva, formação de líderes e planejamentos) (Cidades, 2024; Decina; Brandão, 2016).

Visando o apoio dos objetivos do Marco de Sendai e da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, os conceitos de cidades sustentáveis, resilientes e inteligentes podem representar uma resposta face às mudanças climáticas e seus expressivos impactos.

Um dos aspectos fundamentais das cidades resilientes é a capacidade de planejamento urbano que integra a adaptação às mudanças climáticas desde o início. Isso inclui o desenvolvimento de infraestruturas robustas e flexíveis que possam resistir a eventos como inundações, tempestades e secas prolongadas. Além disso, são necessárias infraestruturas sociais, de preparação e enfrentamento de desastres (Kim; Lim, 2016; Wilden; Feldmeyer, 2021; Zobel; Khansa, 2014).

A resiliência, nesse contexto, corresponde à habilidade de adequação, organização e crescimento urbano em face à ocorrência de desastres naturais, como inundações e deslizamentos de terra (Bush; Doyon, 2019). Aliada a estes processos e compreendendo a alta complexidade, a Engenharia de Resiliência abrange a capacidade de reconhecer e de adaptar a perturbações imprevistas (Woods, 2012). Para alcançar um desempenho resiliente em um sistema complexo como este, podem calhar as estratégias de resposta, monitoramento,

aprendizagem e antecipação (Hollnagel, 2018). Esses potenciais da Engenharia de Resiliência são essenciais para lidar com a complexidade e a variabilidade de processos e sistemas sociotécnicos (Patriarca et al., 2018).

As cidades sustentáveis, por sua vez, buscam auxiliar na mitigação das causas das mudanças climáticas e adaptar-se aos impactos inevitáveis. Em um contexto global de aumento das temperaturas e eventos climáticos extremos mais frequentes, essas cidades procuram reduzir suas pegadas de carbono, promover o uso eficiente de recursos e criar ambientes mais resilientes para seus habitantes (Elmqvist *et al.*, 2019; Goodess *et al.*, 2021; Kang; Lee; Jung, 2024).

Já as cidades inteligentes estão se destacando como uma resposta inovadora e eficaz às mudanças climáticas, aproveitando tecnologias avançadas para melhorar a qualidade de vida urbana e reduzir o impacto ambiental. Essas cidades são caracterizadas pelo uso integrado de dados e tecnologias digitais para gerenciar recursos de forma eficiente, promover a sustentabilidade e aumentar a resiliência frente aos desafios climáticos emergentes (Huang-Lachmann, 2019; Ragia; Antoniou, 2020; Silva; Khan; Han, 2018).

Em suma, as cidades sustentáveis, inteligentes e resilientes não são apenas uma resposta necessária às mudanças climáticas, mas também representam uma oportunidade para criar ambientes urbanos mais saudáveis, equitativos e prósperos para as gerações futuras. O compromisso com práticas sustentáveis hoje pode moldar o futuro das nossas cidades e do planeta como um todo. Entende-se que a junção dos três conceitos é necessária para a proposição de soluções diante do cenário apresentado. Diante disso, o presente trabalho traz uma proposta de uma ferramenta para a priorização de áreas de risco. A ferramenta contempla uma série de critérios interdisciplinares de avaliação e priorização de setores de risco muito alto, com o propósito de auxiliar as cidades no enfrentamento de desastres e a construção de comunidades mais sustentáveis e resilientes, identificando caminhos críticos para o investimento público.

1.1 JUSTIFICATIVA

Considerando a necessidade de execução de Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR) para as cidades brasileiras e sua alta complexidade, constatou-se uma lacuna em relação à priorização de áreas de risco muito alto para o direcionamento estratégico de ações

estruturais e não estruturais pelo poder público. Entende-se que todas as áreas de risco precisam de atenção e prioridade na execução de planos de ação, todavia, ferramentas de priorização de áreas que se aprofundam em princípios da sustentabilidade e resiliência urbana são necessárias para formular caminhos estratégicos para o poder público, principalmente no cenário brasileiro, em que a ocupação desordenada é característica em áreas de risco, intensificando o perigo.

Na literatura nacional, identificaram-se poucos trabalhos voltados para o planejamento estratégico em áreas de risco, a exemplo de Assis *et al.* (2024), que utiliza matriz GUT (gravidade, urgência e tendência) como forma de estabelecer prioridades aplicada nas áreas de risco de Juiz de Fora/MG; e de De Magalhães *et al.*, (2022), que apresenta uma ferramenta para o planejamento resiliente de infraestrutura urbana, aplicado a estudo de caso em Porto Alegre/RS. Na literatura em nível internacional, foram identificados trabalhos com enfoque em análise através de indicadores de resiliência e sustentabilidade através de matrizes de prioridade (Anelli; Tajani; Ranieri, 2022; Rędzińska; Piotrkowska, 2020; Wilden; Feldmeyer, 2021; Zhang *et al.*, 2020).

A lacuna de conhecimento identificada está na produção de ferramentas de planejamento estratégico que priorizem áreas de risco, considerando critérios que representem a complexidade das grandes cidades brasileiras, especialmente para a cidade de Porto Alegre/RS, objeto deste estudo. Apesar de terem sido identificados trabalhos com foco na priorização, é possível identificar lacunas em relação ao aprimoramento de ferramentas que possam apoiar decisões do poder público em relação a investimentos na construção de infraestruturas mais preparadas para desastres.

Diante disso, o trabalho se justifica devido à contribuição teórica em aprofundar o assunto e desenvolver uma ferramenta multicritério para a priorização de áreas de risco dentro do cenário de desastres nacional, especificamente para a cidade de Porto Alegre/RS. E, ainda, pela contribuição prática, na colaboração da execução do PMRR para Porto Alegre/RS, no sentido de auxiliar a tomada de decisão da gestão pública.

1.2 CONTEXTO DA PESQUISA

A pesquisa está inserida dentro de um contexto de gestão de riscos de desastres no cenário brasileiro, especificamente na cidade de Porto Alegre. Diversas cidades do estado do Rio Grande do Sul, incluindo Porto Alegre, sofreram com o recente desastre ocorrido nos meses

de abril e maio de 2024, que impactou socialmente, economicamente e ambientalmente o estado. O evento de inundação se caracterizou pelas precipitações que excederam significativamente as médias históricas, sendo registrado, em algumas áreas, até 300 mm de chuva em um único dia, afetando principalmente os rios Jacuí, Taquari, Caí e, por consequência, o Guaíba, que atingiu níveis acima dos 5 metros. Dados da Defesa Civil do Rio Grande do Sul (2024) mostram a gravidade desse evento, culminando em 183 óbitos, 806 feridos e 27 pessoas desaparecidas. Além disso, mais de 580 mil pessoas ficaram desalojadas. Os recursos federais para a reconstrução somam mais de 5 bilhões em 2024, além de créditos para empresários através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), de mais de 15 bilhões. Antes do desastre, esperava-se que o Produto Interno Bruto (PIB) crescesse 6%; após o evento, essa projeção passou para 4,7%. Estimativas ainda mostram que o desastre resultou em uma queda de 432 mil empregos. No setor ambiental, estima-se que, somente em Porto Alegre, 26 mil hectares de áreas de proteção ambiental foram atingidos pelas inundações (CEPAL; BID; Banco Mundial, 2024).

Diante desse cenário que intensifica os prejuízos sociais e econômicos, a Secretaria Nacional de Periferias (SNP) do Ministério das Cidades (MCID) tem como uma de suas competências propor e implementar políticas públicas de prevenção e mitigação de riscos e desastres, e outros riscos associados a extremos climáticos, nas periferias urbanas. Uma dessas ações consiste na elaboração de planos locais de redução de risco (Decreto nº 11.468, de 5 de abril de 2023), tendo a participação social como norteadora da resiliência comunitária. Uma das ações do MCID foi o financiamento de PMRRs em cidades brasileiras, sendo uma delas Porto Alegre/RS. A elaboração do plano é uma colaboração de universidades públicas e prefeituras municipais. Além da elaboração do instrumento de planejamento PMRR, esta cooperação visa estimular a formação de profissionais capacitados a responder aos desafios contemporâneos em mapeamento e gestão de riscos e desastres, permitindo o desenvolvimento e a organização local para o enfrentamento dos riscos de cada território. A elaboração dos planos para prevenção de riscos, em parceria com as instituições de pesquisa, também visa produzir subsídios para atualizar os métodos de mapeamento e análise de riscos em resposta às inovações conceituais no campo da Gestão de Riscos produzidas nos últimos 20 anos (Cidades, 2024).

Dentre os objetivos do PMRR está a construção de um documento estratégico para a prevenção e mitigação de riscos socioambientais, associados aos processos geológicos e hidrológicos, sendo os principais produtos o mapeamento e a indicação de intervenções

estruturais e não estruturais. Ainda, um dos objetivos é a proposição de critérios de hierarquização dos setores de risco alto e muito alto para o planejamento da execução das intervenções (Cidades, 2024). Neste sentido, o PMRR desempenha o papel de atualizar ou criar mapeamentos, propor medidas, atuar diretamente com as comunidades e seus conhecimentos e ainda criar instrumentos para a tomada de decisão. Estas medidas tornam a criação de um plano para os municípios brasileiros uma aliada na mitigação de desastres e na construção de cidades mais sustentáveis e resilientes.

A partir dos documentos técnicos do PMRR, o Poder Público fica subsidiado a promover medidas estruturais e não estruturais nos locais de maior risco. O mapeamento das áreas de risco é uma importante ferramenta para o direcionamento dos investimentos públicos, todavia, o desenvolvimento de métodos e ferramentas de apoio é essencial para que o destino do investimento seja realmente alocado de forma a impactar positivamente a maior parte da população. Neste sentido, ferramentas de avaliação de impacto, de priorização de ações e estudo de viabilidade podem auxiliar, e é onde o presente trabalho está contextualizado.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema da pesquisa pode ser separado em duas categorias: problema do mundo real e problema teórico.

O problema do mundo real está relacionado ao incremento de desastres no ambiente urbano devido às mudanças climáticas, o que acarreta a necessidade de criação e atualização de PMRRs para os grandes centros urbanos, bem como ferramentas e instrumentos que auxiliem gestores municipais na tomada de decisão em áreas de alto risco. O PMRR está em andamento na cidade de Porto Alegre/RS e foi o que motivou a presente pesquisa.

O problema teórico está relacionado à falta de aprofundamento e aprimoramento dos conceitos e estratégias para planos de ação em situação de risco, contemplando o desenvolvimento sustentável das cidades. Ainda, pouco se observa a aplicação prática de modelos para tomada de decisão para gestores municipais.

A lacuna identificada está ligada às formas de escolha ou priorização das áreas de risco, atividade posterior ao mapeamento dos riscos, com o propósito de apoiar os atores político-administrativos na determinação das ações ou obras prioritárias ao investimento do setor

público. Almeja-se com isto criar uma ferramenta que permita obter de forma objetiva os maiores benefícios para a população afetada por desastres climáticos, a exemplo da catástrofe ocorrida no Estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024.

1.4 QUESTÃO DE PESQUISA

Com base na lacuna de conhecimento, estabeleceu-se a seguinte questão de pesquisa:

Como priorizar áreas de alto risco para composição de planos de mitigação de desastres hidrológico-geotécnicos?

Além da questão principal, ajustam-se questões secundárias:

Quais são as principais dimensões temáticas dos conceitos do planejamento urbano sustentável e resiliente para elaboração de eixos de estudo dentro do contexto de priorização de áreas de risco?

Quais são os critérios para priorizar áreas de risco contra processos hidrológicos-geotécnicos?

Como instrumentalizar métodos para composição de banco de dados para priorização através de indicadores?

1.5 OBJETIVOS

Com base na lacuna de conhecimento e na questão principal da pesquisa, estabeleceu-se o seguinte objetivo geral:

Propor uma ferramenta multicritério que auxilie na tomada de decisão estratégica no processo de priorização de áreas de risco, visando um plano de mitigação de desastres hidrológico-geotécnicos.

Além do objetivo geral, ajustam-se os seguintes objetivos específicos:

- Propor dimensões temáticas para agrupamento de critérios para ferramenta de priorização de áreas de risco a partir dos conceitos de cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes.

- Indicar e propor formas de levantar pesos em níveis de importância para critérios de priorização de áreas de alto risco em processos hidrológico-geotécnicos.
- Propor instrumento de coleta de dados das áreas de risco e aplicar em estudo empírico nos setores de risco de Porto Alegre/RS.

1.6 DELIMITAÇÕES

A primeira delimitação deste trabalho está relacionada à produção e à aplicação da ferramenta estar vinculada ao contexto de áreas de risco de Porto Alegre/RS. Apesar de ser um estudo que pode ser replicado em outros contextos, o embasamento teórico e prático foi pensado para Porto Alegre, bem como sua aplicação e validação.

A segunda delimitação está relacionada às áreas de risco utilizadas como estudo empírico deste trabalho. Devido ao número significativo da setorização de risco na cidade, foram selecionadas uma amostra de 18 áreas em distintos locais da cidade. Esta amostra foi determinada a partir do próprio delineamento do PMRR-POA, onde foram priorizadas algumas áreas para ser realizado um estudo mais aprofundado.

A terceira delimitação está relacionada aos processos hidrológico-geotécnicos analisados. Neste trabalho, torna-se objeto de estudo apenas os processos de enxurradas, inundações e movimentos de massa (incluindo as quedas de blocos e deslizamentos). O delineamento foi proposto com base nos mapeamentos realizados pela CPRM (2022), indicando maior concentração de áreas de risco com ocorrências destes processos.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 7 capítulos, sendo o primeiro o de introdução. O segundo capítulo traz uma revisão de literatura, relacionada ao planejamento urbano voltado para a gestão de riscos de desastres. Neste capítulo, são apresentados conceitos-chave da gestão de riscos e conceitos do planejamento urbano sustentável, inteligente e resiliente.

No terceiro capítulo, é apresentado o método de pesquisa, contemplando a estratégia utilizada e o delineamento metodológico para a produção do trabalho.

O quarto capítulo apresenta os resultados de um estudo empírico realizado na cidade de Porto Alegre/RS, focado em áreas de risco alto e muito alto. O estudo apresenta os condicionantes físicos, econômicos e sociais de cada área analisada, além de registros e percepções técnicas por meio de visitas realizadas nestes locais.

O quinto capítulo trata dos processos para desenvolvimento da proposta. Nele estão contidos os relatos de preparação e composição da ferramenta. A estrutura conceitual é apresentada e os seus componentes são descritos no capítulo.

No sexto capítulo, são apresentados os resultados de aplicação da ferramenta, tanto no âmbito teórico, como no prático. Os resultados mostram a aplicabilidade da ferramenta no cenário de riscos da cidade de Porto Alegre e a relevância teórica do artefato.

Por fim, o sétimo capítulo traz as conclusões acerca do artefato, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

2 O PLANEJAMENTO URBANO E A GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES

Este capítulo trata dos caminhos e desafios para o planejamento urbano voltado para a gestão de risco de desastres. Serão apresentados os conceitos da gestão de riscos de desastres e caminhos alternativos para o desenvolvimento de um planejamento urbano sustentável, inteligente e resiliente. Por fim, é apresentada uma revisão de ferramentas de apoio à gestão de risco, que são importantes instrumentos para o planejamento urbano futuro.

2.1 GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES

Em meio às mudanças climáticas e à ocorrência de eventos extremos, o principal papel do Poder Público é uma gestão eficaz na redução de riscos de desastres. Este é um dos pontos importantes na busca por cidades mais sustentáveis, inteligentes e resilientes. O aumento de desastres está diretamente relacionado à vulnerabilidade das comunidades periféricas, que intensificam o perigo devido à sua ocupação desordenada. A redução destes riscos deve estar associada aos processos de tomada de decisão, não somente pós-evento, como também em políticas públicas e no planejamento urbano (Assis *et al.*, 2024). Nesta seção, serão apresentados os conceitos envolvendo os impactos das mudanças climáticas no meio urbano e os meios de desenvolver alternativas de mitigação de desastres ambientais extremos, trazendo através da literatura as abordagens da Gestão de Riscos de Desastres (GRD).

2.1.1 Risco, Perigo e Vulnerabilidades

Para melhor compreender o risco, é necessário entender as relações entre o perigo e a vulnerabilidade, o produto destes dois fatores resulta no risco.

O perigo é comumente tratado na literatura como *"Hazard",* que pode ser traduzido para 'perigo' ou 'perigosidade', ou ainda como 'acaso' ou 'azar'. As traduções refletem o conceito de perigo na gestão de riscos, que é a probabilidade de um evento acontecer, vinculado ao evento em si (Bressani, 2024). Estes eventos podem ser processos de secas, queimadas, inundações, enxurradas, deslizamentos de terra e outros, que são chamados de processos perigosos. Apesar da vasta lista de processos perigosos, de acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013), mais de 87% das mortes entre os anos de 1991 e 2012, no Brasil, estão associadas a processos de inundação, enxurrada e movimentos de massa. De acordo com o Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2021), os movimentos de massa são

classificados em rastejo, deslizamentos, quedas e corridas; os processos hidrológicos são classificados em inundação, enxurrada e alagamento; as erosões hídricas são classificadas em erosão marinha, erosão de margem fluvial, terras caídas, erosão laminar, ravinas e voçorocas; e outros processos, como de solapamento, colapso, expansão ou contração de argilas e movimentos de dunas.

As inundações são caracterizadas pela elevação do nível de água de um canal fluvial devido à ocorrência de chuvas intensas, aumentando sua vazão e, por consequência, a cota máxima, atingindo a planície de inundação. Já as enxurradas são escoamentos de alta energia de transporte que podem ou não estar associadas a rios ou arroios, sendo capazes de carregar pessoas e até objetos maiores, ocorrendo geralmente em áreas com deficiências no sistema de drenagem e em locais de maior declividade. E os movimentos de massa são caracterizados por serem movimentos rápidos de solo e/ou rocha que se deslocam devido à declividade. Além do fator da gravidade, a água é um componente que contribui para o processo (Marchezini *et al.*, 2024).

Já o conceito de vulnerabilidade indica que uma condição preexistente faz com que um elemento exposto possa ser afetado por um processo perigoso (CEPED/RS, 2013). A vulnerabilidade mede o grau do possível dano que um elemento poderá ter frente a um evento (Bressani, 2024). Em situações extremas, como a de desastres, a vulnerabilidade é ampliada devido ao impacto mensurado a partir dos danos causados diretamente e indiretamente em uma comunidade (Filho *et al.*, 2017). A capacidade de avaliar a vulnerabilidade a desastres é uma necessidade fundamental para auxiliar na formulação de estratégias de redução de risco, fornecendo aos tomadores de decisão informações pertinentes sobre os locais de infraestruturas mais suscetíveis. Isso, por sua vez, aprimora os processos de planejamento e gerenciamento do risco (Alvalá *et al.*, 2024).

Entre as dimensões abordadas pelos autores para a avaliação de vulnerabilidades estão a dimensão social, física, de infraestrutura, de capacidade de resposta, perigo, econômica e institucional. Estas dimensões estão associadas à avaliação de indicadores, qualitativos e quantitativos, relacionados a possíveis perdas em cada dimensão. Dentro deste contexto, as vulnerabilidades socioeconômicas ganham destaque devido à mensuração dos prejuízos e dos danos sociais e econômicos causados pelos desastres. A vulnerabilidade social pode ser avaliada através de indicadores demográficos que representem o bem-estar físico e mental da

população. Estes indicadores correspondem a variáveis que representam a equidade social e a desigualdade educacional. Essas variáveis visam compreender o nível de desenvolvimento social, contribuindo para determinar a capacidade de acesso a informações relacionadas a alertas e recuperação. E para a dimensão econômica, a vulnerabilidade pode ser avaliada através de indicadores relacionados à renda da população, tipos de ocupação e número de empregadores (Alvalá *et al.*, 2024; Filho *et al.*, 2017; Ribeiro; Saito; Alvalá, 2022).

Inerentemente, a dinâmica da vulnerabilidade sobre o perigo também é considerada. A vulnerabilidade está associada à suscetibilidade de ocorrência do processo, ao grau de exposição das pessoas e à abrangência do processo. Estes indicadores estão relacionados aos processos físicos e ambientais do próprio processo natural, o que indica que algumas cidades ou bairros podem não ser as mais vulneráveis socioeconomicamente, mas podem ser vulneráveis a processos perigosos. Um exemplo dessa dinâmica pode ser compreendido nos resultados do trabalho de Torres *et al.* (2021), que aponta as cidades da Macrometrópole de São Paulo como não sendo as mais vulneráveis socioeconomicamente, mas que apresentam vulnerabilidade a processos de secas e desastres. Sendo assim, em locais que ocorrem processos perigosos, as situações podem ser agravadas se as condições socioeconômicas não forem as melhores.

É dentro dessa dinâmica das vulnerabilidades e do perigo que o risco pode ser definido como o produto entre os dois conceitos. O risco representa uma estimativa de dado potencial a que pessoas, bens e atividades econômicas estão sujeitas, levando em conta a probabilidade de um evento perigoso ocorrer e a vulnerabilidade dos elementos expostos (Bressani, 2024; Filho *et al.*, 2017).

$$\boldsymbol{Risco = Perigo\ (probabilidade\ de\ um\ processo\ ocorrer) * Vulnerabilidades}$$

A dinâmica do risco deve considerar os diferentes cenários possíveis, combinando a probabilidade de os processos perigosos ocorrerem e a relação entre os indicadores de vulnerabilidade. Neste ponto entra a gestão de riscos, que é a identificação do risco e a instrumentação de soluções concretas para cenários diversos. Estes cenários de risco podem ser representados graficamente através de mapas de áreas de risco do município, separando as áreas por ordem hierárquica do risco. Essa setorização consiste na identificação e caracterização das porções urbanas sujeitas a sofrer perdas ou danos causados por processos perigosos. A partir desta caracterização, as áreas são setorizadas e classificadas por um grau de risco, de 1 a 4,

sendo: R1 – processos de baixa ou nenhuma potencialidade, onde não há indícios e nem se espera a ocorrência; R2 – processos de média potencialidade, em estado de fase inicial de desenvolvimento e reduzida possibilidade de ocorrência; R3 – processos de alta potencialidade, em estado de pleno desenvolvimento, onde fica perfeitamente possível a ocorrência; e R4 – processos de alta potencialidade, em estado avançado de desenvolvimento, onde é muito provável a ocorrência (CPRM, 2021).

O mapeamento é uma das ferramentas da GRD e é o que dá subsídio à criação de um plano municipal, que é um instrumento mais complexo, que busca compreender a causalidade dos riscos no território para que se possam propor ações estruturantes com potencial de atender as necessidades das situações identificadas e de construir um cenário futuro sem riscos e com comunidades mais resilientes e sustentáveis (Civil, 2021). Com o plano municipal, é possível planejar ações antes, durante e depois de eventos extremos. As ações de preparação incluem a identificação e catalogação de recursos humanos e logísticos; capacitação de voluntários; planos de contingência e resposta; capacitação de agentes e da comunidade; previsões orçamentárias e financeiras; e convênios e acordos de cooperação. As ações durante o evento estão ligadas ao planejamento de ações de socorro e assistência às pessoas afetadas, além do planejamento de comunicação de informações durante o evento. Já as ações pós-evento estão ligadas à reabilitação e recuperação de cenários, diagnosticando os danos e as necessidades para a reabilitação (CEPED UFSC, 2014). É neste cenário de complexidade que as ferramentas de gestão de riscos podem servir de apoio nas diferentes fases dos desastres, além de amparar a decisão do Poder Público, instrumentalizar os processos de defesa civil e impulsionar o avanço científico na área.

2.1.2 Ações e a Capacidade do Estado na Gestão de Risco

A ocorrência de desastres obriga a sociedade a reconhecer que existe a necessidade de organizar as cidades para o enfrentamento e mitigação desses eventos, principalmente no que diz respeito à perda de vidas. A Gestão de Risco de Desastres (GRD) dos municípios necessita incluir mecanismos de autoproteção social e aproveitamento dos recursos existentes para o desenvolvimento de programas de prevenção, mitigação e preparação para desastres. Estes programas devem incluir ações de redução de vulnerabilidades por meio da mobilidade urbana, da habitação, do trabalho, do acesso a equipamentos sociais e serviços, do desenvolvimento

contínuo de ações comunitárias e da operacionalização das ações de resposta a desastres (CEPED UFSC, 2014).

A Lei nº 12.608, institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e estabelece as diretrizes para a prevenção e a resposta a desastres no Brasil. Entre seus principais pontos, destacam-se a criação do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), integrando os órgãos públicos, a sociedade civil e o setor privado para ações coordenadas. A lei ainda responsabiliza os Municípios, Estados e União na gestão de riscos, incluindo o mapeamento das áreas e criação do cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis a desastres naturais (Brasil, 2012).

Em paralelo a PNPDEC ressaltam-se ainda: a Lei nº 12.340 que regula a transferência de recursos federais para ações de prevenção, resposta e recuperação de desastres, estabelecendo regras para financiamento emergencial (Brasil, 2010); a Lei nº 9.433, que regula a Política Nacional de Recursos Hídricos tem como um de seus objetivos a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (Brasil, 1997); a Lei nº 9.795 que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, tem como princípio básico para a educação ambiental o estímulo a participação individual e coletiva nas ações de prevenção, de mitigação e de adaptação relacionadas às mudanças do clima e no estancamento da perda de biodiversidade, bem como na educação direcionada à percepção de riscos e de vulnerabilidades a desastres socioambientais (Brasil, 1999); e a Lei nº 10.257 que institui o Estatuto da Cidade, obriga os municípios a planejarem a ordenação e o controle do uso do solo, de forma a evitar a exposição da população a riscos de desastres (Brasil, 2001).

Dentre as ações governamentais para a gestão de riscos, podem ser destacados o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, que foi criado em 2012 e pautou quatro eixos: a prevenção, por meio de obras estruturantes com investimentos em infraestrutura, como obras de drenagem e contenção de encostas; os mapeamentos das áreas de risco; a estrutura nacional de monitoramento e alerta, com o fortalecimento do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN); e as ações de resposta, como as de socorro, assistência e reconstrução. Outras ações desenvolvidas foram o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), desenvolvido pela Agência Nacional das Águas (ANA) para garantir a segurança hídrica e reduzir os riscos de inundações e secas; e o Plano Diretor de

Defesa Civil (PDDEC), que foi criado para os municípios e os estados elaborarem estratégias locais de prevenção e resposta a desastres.

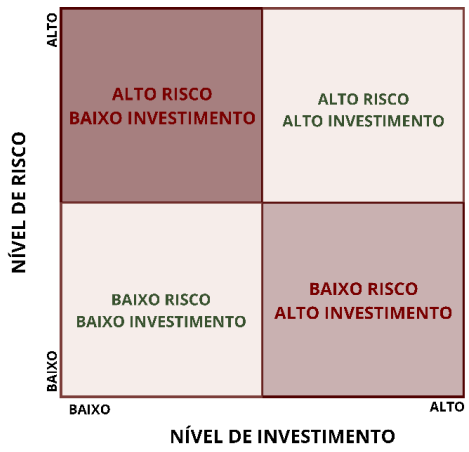
Em nível internacional, a preocupação com a evolução do planejamento urbano voltado para a gestão de riscos é notada em agendas de comprometimento com a atual crise climática. A Agenda 2030 da ONU pauta os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e vários deles estão diretamente relacionados à gestão de riscos e desastres climáticos. Com o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, a agenda propõe ações para reduzir vulnerabilidades e fortalecer a resiliência das comunidades. O ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis - propõe tornar cidades mais resilientes e seguras, reduzindo os impactos de desastres naturais e incentivando o planejamento urbano sustentável para evitar construções em áreas de risco. A ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima - foca na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, estimula a redução de emissões de gases do efeito estufa e a transição para uma economia de baixo carbono e apoia a criação de políticas públicas para prevenção e resposta a desastres climáticos. A ODS 6 – Água Potável e Saneamento - garante acesso à água segura e medidas contra inundações e secas, e propõe melhorias na gestão dos recursos hídricos para evitar crises hídricas. E a ODS 15 – Vida Terrestre - defende a proteção dos ecossistemas para evitar desastres como deslizamentos e desertificação e incentiva a recuperação de áreas degradadas e o manejo sustentável de florestas (ONU, 2015).

O Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres (2015-2030) é um acordo internacional adotado pela ONU em 2015, que busca reduzir a mortalidade, os prejuízos econômicos e os danos à infraestrutura e serviços essenciais causados por desastres, por meio de prevenção, mitigação e preparação. O Marco é fundamentado em quatro prioridades de ação: compreender o risco de desastres, melhorando a análise e a disseminação de informações; fortalecer a governança de riscos, criando políticas e estratégias eficazes para gestão de desastres; investir na redução de risco, com implementação de infraestruturas resilientes, planejamento urbano e proteção ambiental; e reforçar a preparação e resposta, com a melhora de sistemas de alerta precoce e a capacitação de recuperação após desastres (ONU, 2015). No Brasil, o Marco de Sendai e a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável foram adotados como referência para a PNPDEC (Brasil, 2025).

Esse conjunto de leis e ações governamentais está relacionado ao conceito de capacidade do Estado, que é um conjunto de instrumentos e organismos que o Estado usa para implementar políticas públicas. Perante a lei que institui o PNPDEC e suas competências, são esperadas as capacidades dos estados e municípios de agir no planejamento, monitoramento, nas articulações intermunicipais, nas áreas de risco, na capacitação e nas medidas preparatórias. Todavia, é possível observar algumas inconsistências em relação a esta capacidade. Uma das grandes dificuldades que rodeiam os municípios para a efetivação das medidas de gestão de riscos e desastres está relacionada à distribuição dos recursos (Ferentz; Garcias, 2020).

Um estudo recente de Silva *et al.* (2025) mostrou que existem inconsistências em relação à distribuição de recursos financeiros em cidades que apresentam situações de risco. O estudo é baseado em uma matriz de Investimento X Risco que indica que, se a área possui o risco baixo, o investimento deve ser baixo, e que, se o risco for alto, o investimento deve ser alto, sendo possível identificar áreas críticas, como as configurações de áreas com risco alto e investimento baixo (Figura 1). Os resultados mostraram que 73 municípios se enquadram na categoria de baixo risco e alto investimento e 267 municípios na categoria de médio risco e alto investimento, mostrando a inconsistência na distribuição do recurso. O estudo ainda mostrou um cenário mais agravado, onde existem 208 municípios que são classificados como de alto risco e baixo investimento e 908 municípios classificados com médio risco e baixo investimento (Silva *et al.*, 2025).

Figura 1 - Matriz Investimento x Risco.



Fonte: Silva *et al.* (2025), traduzido e adaptado pelo autor (2025).

O estudo ainda revelou uma tendência preocupante, que aponta que os investimentos em defesa civil estão diminuindo, enquanto o número de desastres está aumentando (Silva *et al.*, 2025). Esse é um comum problema na capacidade do Estado em implementar ações efetivas de redução de risco, pois sabe-se que, além da necessidade de verbas para ações práticas, é necessário o destino correto. Se faz necessária a utilização de novos instrumentos para monitorar e acompanhar essa dinâmica. Estes instrumentos devem considerar as características de cada região e monitorar a destinação de verba pública (Ferentz; Garcias, 2020; Silva *et al.*, 2025).

Outra dificuldade dos estados e municípios está associada à avaliação do andamento dos processos após os lançamentos da PNPDEC, indicando a necessidade de sistemas de monitoramento da evolução dos estados e municípios, buscando a melhor distribuição de recursos e avaliando a efetividade das ações implementadas. Isto possibilitaria a formulação de ferramentas mais efetivas em relação à redução de riscos. Neste sentido, o uso de indicadores de avaliação governamental em relação à gestão de riscos pode ser eficaz (Ferentz; Garcias, 2020). O trabalho de Coutinho, Lucena e Henrique (2020) listou alguns desses indicadores: analisar o nível de utilização e disponibilidade de subsídios para consolidar o planejamento em relação à gestão de risco de desastres; avaliar a organização em relação a projetos, captação de recursos para obras estruturais, estrutura logística para atuação em fases de prevenção e preparação, cadastro de população em risco e cadastro de abrigo em emergências; verificar o desempenho de medidas não estruturais nas escolas e agentes de saúde; examinar o trabalho interdisciplinar e verificar como a gestão se integra com a população; e verificar as ferramentas de financiamento e apoio às emergências.

Enquanto o número de desastres no Brasil aumenta, surge uma lacuna de investimentos de prevenção e redução dos riscos. Essa tendência é preocupante, pois as medidas pré-desastre são mais eficazes na redução do número de vítimas e da população diretamente afetada, além de menores perdas econômicas (Silva *et al.*, 2025). Trabalhar na prevenção proativa é uma das principais medidas propostas no Marco de Sendai, pois pode mitigar o impacto dos desastres, reduzindo perdas econômicas e sociais (ONU, 2015).

2.1.3 Mitigação de Desastres

Uma das formas de diminuir o impacto de desastres é através da mitigação, que é a diminuição ou minimização dos impactos adversos de uma ameaça (Marchezini *et al.*, 2024).

Estas medidas podem estar vinculadas a ações estruturais que são as obras de engenharia, como, as de contenção, de drenagem e proteção superficial, obras de requalificação e reurbanização e propostas de realocação de edificações. Essas estruturas são fundamentais para proteger as áreas vulneráveis, principalmente em zonas urbanas com alta densidade populacional, e devem fazer parte do planejamento urbano voltado para a gestão de riscos.

As obras de engenharia para qualificação das estruturas das áreas de risco indicam a importância da qualidade do bairro para que os indivíduos se sintam protegidos contra os riscos naturais e, consequentemente, mais satisfeitos com o local em que vivem (Del-Roio *et al.*, 2024). Todavia, estas ações estruturais exigem uma responsabilidade socioambiental, de forma a não impactar negativamente no meio natural, tampouco na sociedade, que na maioria das vezes já vive em um cenário de vulnerabilidade.

Por outro lado, as ações não estruturais englobam políticas, práticas institucionais, educativas e comportamentais voltadas à prevenção de riscos. Estas ações incluem o planejamento do uso e ocupação do solo, programas de educação ambiental, implementação de sistemas de alerta precoce, treinamentos de evacuação e elaboração de legislações específicas para as áreas de risco, focados principalmente na participação e engajamento comunitário. Tais medidas fortalecem a capacidade adaptativa da sociedade, promovendo uma cultura de prevenção e resiliência (CPRM, 2017).

A eficácia da GRD está diretamente relacionada à articulação entre ações estruturais e não estruturais. Enquanto as intervenções físicas oferecem proteção direta contra ameaças, as medidas não estruturais ampliam o conhecimento, a preparação e a resposta da população diante de potenciais desastres. Neste sentido, a educação para redução de riscos de desastres é um ponto fundamental para o bom funcionamento destas ações, pois considera a preparação para desastres através da construção da cultura de prevenção. Para Sulaiman *et al.* (2021), a construção da cultura de prevenção inclui analisar e discutir o modo de ocupação do espaço, a infraestrutura, as práticas sociais e pensar em formas alternativas de diálogo com a população. Isso só é possível se o diálogo for direto com as pessoas que vivem no território em que há a vulnerabilidade e o perigo. Com essa abordagem participativa, é possível criar espaços de diálogo entre os moradores de áreas vulneráveis, pesquisadores, educadores e agentes de órgãos públicos, envolvendo as esferas que são peças-chave na GRD.

Para a construção de uma cultura de prevenção, a mobilização comunitária é essencial para promover e qualificar a percepção de risco da população, sendo que estes moradores das áreas mais vulneráveis são os primeiros a sentirem os impactos dos desastres. A partir da sensibilização e empoderamento da comunidade para atuar nas ações de proteção e defesa civil, as comunidades podem se tornar mais seguras, pois é a partir de conhecimentos repassados que o senso da percepção de risco da comunidade pode ser elevado, levando a população a adotar medidas de mitigação. Estas iniciativas são chamadas de tecnologias sociais (Passuello *et al.*, 2017). Para tanto, são necessárias metodologias que potencializem a interação e a produção coletiva e colaborativa de conhecimentos. Para qualquer atividade nesse contexto, é importante iniciar com um trabalho de diagnóstico, que pode ser feito com o uso de métodos como o mapeamento participativo e cartografia social (Sulaiman *et al.*, 2021).

O Grupo de Pesquisa em Gestão de Riscos de Desastres (GRID) desenvolveu uma metodologia de caráter colaborativo com o objetivo de fortalecer a colaboração dos moradores de áreas de risco que, em suma, passa pelos passos: 1) sensibilização e mobilização comunitária, que é o contato inicial com agentes da comunidade; 2) caminhada comunitária com moradores e equipe técnica para aprofundamento dos conhecimentos no local; 3) oficina de linha de vida, para reconstrução de linha cronológica de memórias da comunidade com o território ocupado; 4) oficina de elementos do ambiente natural e construído para reflexão desses elementos e sua ligação com situações de risco; 5) oficina de fotografia da comunidade de aspectos positivos e negativos, ampliando a percepção do morador para com o ambiente em que vive; 6) oficina de mapa interativo das situações potenciais de risco da comunidade, combinando conhecimento técnico (equipe) com o conhecimento empírico (comunidade); 7) qualificação da percepção de risco, em que é compartilhado as informações sobre os risco existentes; 8) oficina de causas x responsabilidades; e 9) oficina de ações e atitudes, reforçando a proatividade da comunidade na gestão dos riscos (Passuello *et al.*, 2017).

Este tipo de metodologia promove o empoderamento da participação da comunidade para se tornarem agentes de voz ativa nas decisões relacionadas à gestão de riscos e no planejamento urbano voltado para essas decisões. Essas tecnologias e metodologias sociais utilizam os saberes da população local e os saberes técnicos para a produção de um novo saber, voltado para o risco em cada comunidade, considerando suas especificidades, promovendo a reflexão, qualificando a percepção de risco e, por fim, promovendo o planejamento participativo, onde a comunidade sabe suas ações e atitudes (Giazzon *et al*., 2017). O caminho

para elevar a percepção do risco nas comunidades está totalmente direcionado para o envolvimento de equipes técnicas com os conhecimentos da população de residentes nesses locais. Estas atividades integrativas esclarecem aspectos que ajudam a identificar possíveis situações que promovam os riscos ambientais e à vida humana pelos próprios moradores (Ribeiro; Vieira; Tômio, 2017).

De acordo com Alves *et al.* (2021), existe a necessidade de combinar uma tríade de desafios sociais: a informação, a confiança e os incentivos. Esta combinação serve para aumentar a capacidade de enfrentamento e a resiliência, pois somente o conhecimento e experiências com desastres ocorridos anteriormente não são suficientes para que as pessoas se protejam dos perigos. De acordo com o conceito da tríade, quanto mais confiança, mais informação e mais incentivos, o resultado é menos vulnerabilidade e mais resiliência. Já no cenário oposto, se a população tiver poucos incentivos, pouco acesso à informação e pouca confiança, aumentam-se as vulnerabilidades e diminui a resiliência.

2.2 PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL, INTELIGENTE E RESILIENTE

Nesta seção serão apresentados conceitos das cidades sustentáveis, inteligentes e resilientes frente às mudanças climáticas, como alternativa de planejamento urbano, identificando seus conceitos e potencialidades no enfrentamento e mitigação de desastres.

2.2.1 Cidades Sustentáveis

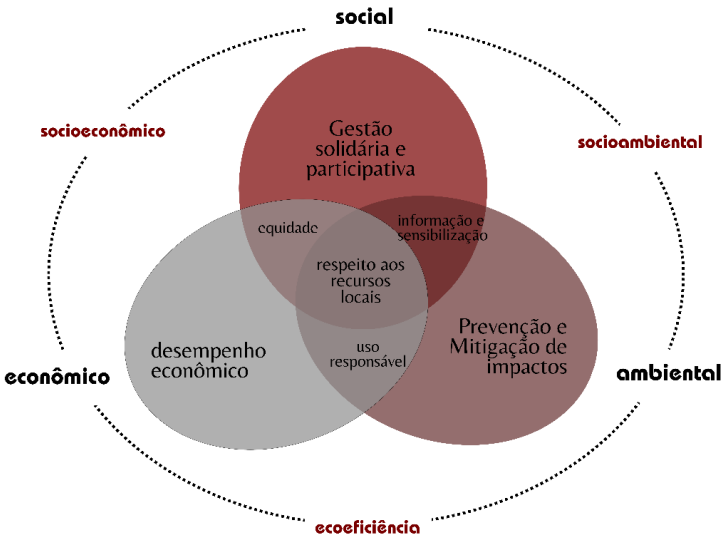
Entramos no século urbano e enfrentar um amplo conjunto de desafios de sustentabilidade nas áreas urbanas é cada vez mais chave para nossas chances de transformar todo o planeta em direção à sustentabilidade (Elmqvist *et al.*, 2019). De acordo com o Observatório do Clima (2023), a emissão de gases do efeito estufa (GEE, em ton CO_2-eq) aumentou 12,2% entre os anos de 2020 e 2021, representando 2,4 bilhões de toneladas. Em relação a desmatamentos de biomas, as emissões de CO_2 equivalente chegaram a 1,19 bilhão de toneladas brutas.

É a partir do consumo excessivo, desperdício de recursos naturais, poluição atmosférica e desequilíbrios sociais que surge o conceito de sustentabilidade (Bento *et al.*, 2018). Dentro do recorte urbano, a sustentabilidade visa atender às necessidades das cidades sem colocar em risco os seus recursos e os recursos de seus arredores. Além disso, garantir o acesso equitativo a todos

os serviços por toda a população (Dubou *et al.*, 2021). Apesar das estatísticas ambientais, as noções de sustentabilidade exigem garantir as nossas necessidades atuais e garantir que as nossas decisões e ações não prejudiquem o sucesso das próximas gerações, que incluem também o respeito pelas necessidades sociais básicas (Nematchoua; Orosa; Reiter, 2019).

É preciso permear entre a prudência ecológica, o desenvolvimento econômico e equidade socioespacial para se atingir o desenvolvimento sustentável urbano, formando três dimensões para sustentabilidade: social, ambiental e econômica (Dubou *et al.*, 2021; Romero, 1969). A Figura 2 mostra como funcionam as dimensões em escala urbana e suas interações. A dimensão ambiental aborda temas ligados à prevenção e mitigação de impactos; a dimensão social aborda a gestão participativa e solidária; e a dimensão econômica aborda o desempenho econômico das cidades. As relações entre as dimensões podem ser definidas como socioambientais, socioeconômicas e de ecoeficiência.

Figura 2 - Dimensões das cidades sustentáveis.



Fonte: Autor (2025).

A crise climática pode ser definida como uma das principais preocupações e desafios para o desenvolvimento sustentável urbano. O caminho para a mitigação e o uso responsável dos recursos está na multidisciplinaridade de conhecimentos sobre o tema, incluindo todas as dimensões citadas (Goodess *et al.*, 2021; Kang; Lee; Jung, 2024; Scarborough; Isendahl, 2020). Na escala socioambiental, observam-se duas vertentes partilhadas que influenciam a ciência da sustentabilidade: a mitigação e a adaptação. A mitigação tenta mudar comportamentos e

circunstâncias para interromper processos e eventos causais. O seu objetivo é causar menos danos à sociedade e ao ambiente. Em conjunto com esses esforços de mitigação está o papel da adaptação, que está ligada às mudanças proativas nos comportamentos e nas circunstâncias para acomodar resultados novos e vantajosos (Scarborough; Isendahl, 2020).

A ambição de desenvolver cidades sustentáveis e saudáveis exige políticas específicas para cada cidade, prática baseada em evidências multidisciplinares, incluindo projeções de alterações climáticas induzidas pelo homem (Goodess *et al.*, 2021). O impacto das alterações climáticas no nosso futuro a curto prazo pode resultar em adaptações que acometem transformações sociais positivas se todas as disciplinas relevantes forem incluídas no diálogo. As práticas sustentáveis do passado, quando combinadas com tecnologias cuidadosamente implementadas de hoje e de amanhã, ajudarão nesta nova ecologia (Scarborough; Isendahl, 2020). É importante que os modeladores climáticos compreendam e se envolvam com a complexa questão social, política, cultural e ambiental que afeta as políticas de adaptação climática nas cidades. Esses fatores complexos destacam o valor que o envolvimento participativo e a abordagem interdisciplinar abrangem em modelos de ação e mudança, juntamente com avaliação de processos e resultados (Goodess *et al.*, 2021).

O planejamento urbano voltado para a mitigação de desastres em cidades sustentáveis é uma abordagem estratégica que integra resiliência e sustentabilidade desde a concepção dos espaços urbanos. Este tipo de planejamento envolve a identificação de áreas de risco, o uso de materiais e técnicas de construção resistentes a eventos extremos, e a implementação de infraestruturas adaptativas, como sistemas de drenagem eficientes, zonas verdes multifuncionais e corredores ecológicos que ajudam a absorver impactos climáticos. Além disso, considera a acessibilidade a rotas de evacuação, serviços de emergência e abrigos seguros, promovendo não só a segurança física da população, mas também o seu bem-estar a longo prazo. Esta visão integrada torna as cidades mais preparadas para enfrentar desastres naturais e as consequências das alterações climáticas.

2.2.2 Cidades Inteligentes

As cidades inteligentes, mencionadas na literatura como "*smart cities",* tornaram-se termos bastante utilizados nos últimos anos. Embora existam distintos conceitos, os principais aspectos envolvem: economia inteligente, comunidades e sociedades inteligentes, governança inteligente, mobilidade inteligente, ambiente inteligente e vida inteligente. Os diferentes

conceitos para cidades inteligentes, identificados por Huang-Lachmann (2019), permeiam entre o foco no uso de meios digitais para redução de consumo; tecnologias verdes que permitem a gestão eficiente da cidade; qualidade do ar mais limpa e crescimento da economia; cidades que ocupam a tecnologia mais avançada para se tornarem ecológicas e socialmente justas; e cidades que se concentram nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e nos transportes.

O conceito de conectar objetivos do cotidiano por meio das redes tornou-se altamente favorável com o surgimento de dispositivos inteligentes para os meios urbanos, como a *Internet of Things*[1] (IoT), que resulta da evolução das redes convencionais que conectam milhões de dispositivos. A cidade inteligente, de forma genérica, é um ambiente que utiliza a IoT e outras tecnologias para melhorar a eficiência do desempenho de suas operações e da qualidade dos serviços fornecidos a seus cidadãos. Para Silva, Khan e Han (2018), o uso da IoT nas cidades inteligentes se dá através de: 1) geração e aquisição de dados da população; 2) gerenciamento e processamento dos dados; e 3) manuseio das aplicações. Além disso, as interações entre todas as etapas fazem da IoT uma ferramenta essencial para a construção de cidades inteligentes. De modo simplificado, podem ser divididas em 4 características principais os conceitos de cidades inteligentes: Sustentabilidade; Qualidade de vida; Inteligência digital; e Urbanização. A Figura 3 apresenta as 4 principais características das cidades inteligentes:

a) Sustentabilidade: ao se tratar de cidades inteligentes, um dos eixos principais de enfoque é a sustentabilidade. Neste sentido, os conceitos de cidades sustentáveis andam lado a lado: consumo consciente de recursos, equidade das políticas públicas, gestão de energia, atenção às mudanças climáticas e poluição;
b) Qualidade de vida: como mencionado anteriormente, o termo “qualidade de vida” entra como destaque, distinguindo-se dos conceitos de cidade sustentável e resiliente. Essa característica se refere à preocupação com o bem-estar financeiro e emocional dos cidadãos;
c) Urbanização: nesse contexto, a urbanização se torna inevitavelmente fundamental no processo de transformação de cidades inteligentes, nos âmbitos de infraestrutura urbana, governança e economia;

[1] “Internet das Coisas” em tradução livre pelo autor.

d) Inteligência digital: essa característica se refere ao uso de inteligências nos âmbitos ambientais, econômicos e sociais, por meio do processamento de dados.

Figura 3 - Características principais das cidades inteligentes.



Fonte: Silva et al. (2018), adaptado pelo autor (2024).

No contexto de mitigação de desastres, pode-se observar que as cidades inteligentes utilizam modelagens multidimensionais das cidades, mapeamentos e dados da população como forma de prevenir e mitigar eventos perigosos. Alguns estudos recentes identificados no trabalho de Seong e Jiao (2024) mostram que as cidades inteligentes integram a gestão de desastres por meio de sistemas de monitoramento, na detecção de emergências, na avaliação em tempo real dos danos de eventos, em sistemas de suporte à decisão para a evacuação e por meio de mecanismos de avaliação da resiliência socioespacial. Em suma, o planejamento urbano de cidades inteligentes voltadas para gestão de desastres está focado no uso de instrumentos tecnológicos que agilizem os processos de tomada de decisão e monitoramento. A agilidade nestes processos durante a ocorrência de desastres pode ser essencial para o planejamento de medidas.

2.2.3 Cidades Resilientes

Tendo em vista que os centros urbanos podem ser considerados sistemas complexos e que incertezas de difícil previsão são inerentes, a resiliência é considerada como a capacidade

de reorganizar, adaptar, mudar e melhorar diante deste cenário. A resiliência enfatiza a flexibilidade, diversidade e aprendizagem adaptativa no gerenciamento de sistemas (Kim; Lim, 2016). A quinta edição do relatório do IPCC (2014) define a resiliência como:

> "Capacidade dos sistemas sociais, econômicos e ambientais de lidar com um evento, tendência ou perturbação perigosa, respondendo ou reorganizando-se de forma a manter a sua função, identidade e estrutura essenciais, ao mesmo tempo que mantém a capacidade de adaptação, aprendizagem e transformação."

O relatório recomenda a criação de um caminho resiliente ao clima como medida para responder aos riscos das alterações climáticas que podem estar concentrados nas áreas urbanas. Esta recomendação implica que, em termos de desenvolvimento sustentável, devemos mudar nossa tomada de decisão e comportamento relativos à economia, sociedade, tecnologia e política. Considerando que as cidades são organismos com inúmeras atividades interligadas funcionando simultaneamente, a resiliência se torna tema importante para análise, principalmente no cenário de um desastre. Neste sentido, as cidades resilientes devem, além de mitigar o risco de processos perigosos a curto prazo, construir sua capacidade de responder eficazmente a uma transformação em todo seu sistema (Kim; Lim, 2016).

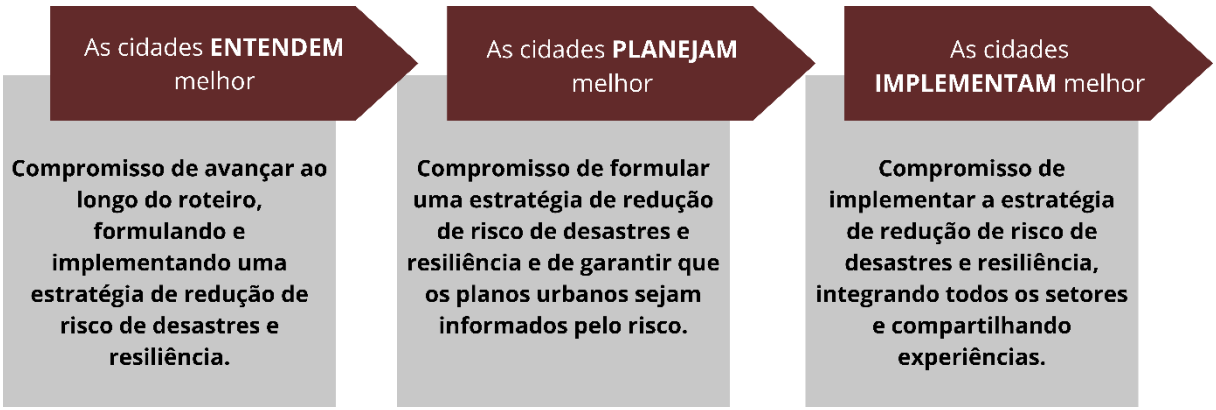
A iniciativa global promovida pelas Nações Unidas - MCR2030 (*Making Cities Resilient 2030*) tem o objetivo de ajudar as cidades a se tornarem mais resilientes até o ano de 2030. A iniciativa busca apoiar governos locais a enfrentar os desafios das mudanças climáticas, desastres naturais e outras crises, promovendo a implementação de políticas e práticas que aumentem a capacidade de adaptação e recuperação das cidades.

A iniciativa propõe três passos principais (Figura 4):

1) As cidades entendem melhor: a etapa se concentra em melhorar a compreensão das cidades sobre a redução de riscos e resiliência;
2) As cidades planejam melhor: a etapa se concentra em melhorar as capacidades das cidades em redução de risco estratégico e planejamento de resiliência. As cidades devem demonstrar o compromisso de avançar para o desenvolvimento ou refinamento de uma estratégia de Redução de Riscos de Desastres - RRD e resiliência e garantir que os planos de desenvolvimento sejam informados pelo risco; e

3) As cidades implementam melhor: Esta etapa se concentra no apoio às cidades na implementação de ações de redução de risco e resiliência.

Figura 4 - Etapas para construção de cidades mais resilientes.

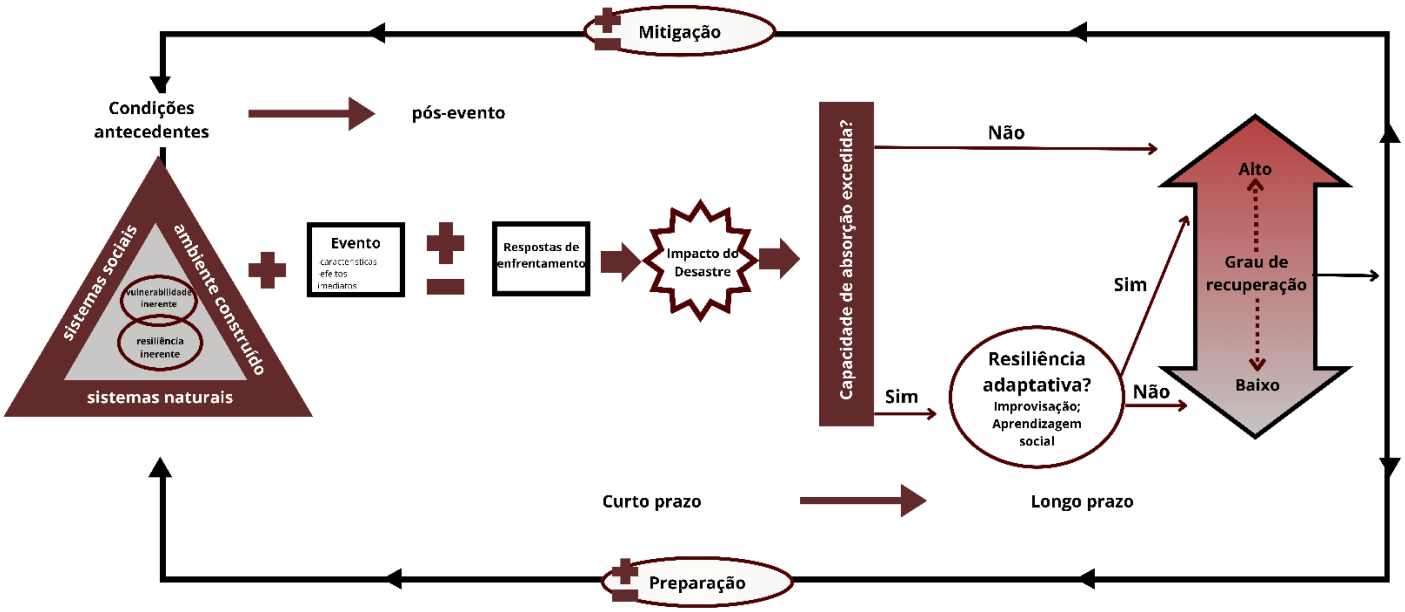


Fonte: ONU (2020), adaptado pelo autor (2025).

A resiliência climática de uma cidade depende da capacidade dos seus subsistemas de antecipar as consequências das condições meteorológicas extremas e das alterações climáticas, para resistir às consequências negativas destes eventos e recuperar-se rapidamente, bem como aprender com esses eventos e adaptar-se a curto e médio prazo, e transformar-se a longo prazo. Quanto maiores forem essas habilidades, mais resiliente será a cidade às consequências das alterações climáticas (Wilden; Feldmeyer, 2021).

O processo completo, desde o acontecimento de eventos extremos até a construção de resiliência, pode ser compreendido através do modelo DROP – *The Disaster Resilience of Place* (Figura 5) (Cutter *et al.*, 2008). Este modelo apresenta o ciclo para construção de resiliência comunitária através dos impactos de desastres. O ciclo se inicia a partir das condições iniciais dos sistemas sociais, ambientais e naturais, somados a um evento extremo e as respostas de enfrentamento das comunidades. O resultado da soma é o impacto causado pelo desastre.

Figura 5 - Modelo DROP - *Disaster Resilience of Place.*

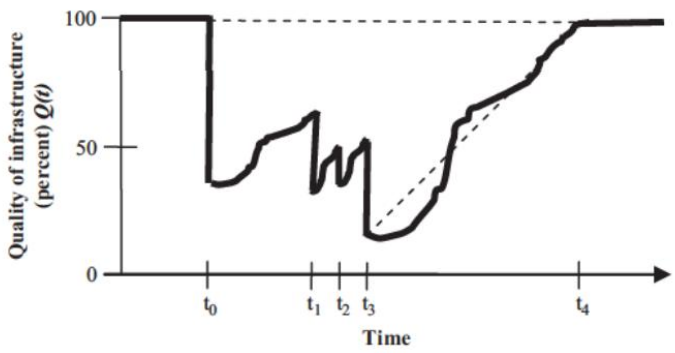


Fonte: Cutter *et al.* (2008), adaptado e traduzido pelo autor (2025).

Os sistemas sociais, ambientais e o ambiente construído, somados a um evento perigoso mais as respostas de enfrentamento, quando sujeitos a um impacto, apresentam diferentes desempenhos dependendo da sua capacidade de absorção. Caso a capacidade de absorção não seja excedida, o impacto do desastre será menor, com maiores possibilidades de recuperação. Já para o caso em que a capacidade de absorção é excedida, existe a possibilidade desse ambiente sofrer impactos e ter grau baixo de recuperação, ou seja, pode apresentar dificuldades de se recuperar. Nesse segundo cenário, a resiliência adaptativa pode apresentar uma mudança no padrão, em que, a partir da construção da resiliência, o ambiente pode ter uma recuperação melhor, mesmo com a capacidade de absorção excedida.

Em paralelo ao modelo de leitura da resiliência de um local, é possível traduzir a recuperação de impactos extremos através de um gráfico da resiliência a eventos (Zobel; Khansa, 2014). O gráfico demonstrado na Figura 6 mostra a relação da qualidade da infraestrutura de resiliência no decorrer do tempo com o acontecimento de uma série de eventos que impactaram naquela infraestrutura inicial. Percebe-se que, a cada queda brusca, ocorre um fenômeno de impacto e que, ao decorrer do tempo, a reconstrução e recuperação fazem com que a qualidade da infraestrutura volte ao seu estado inicial.

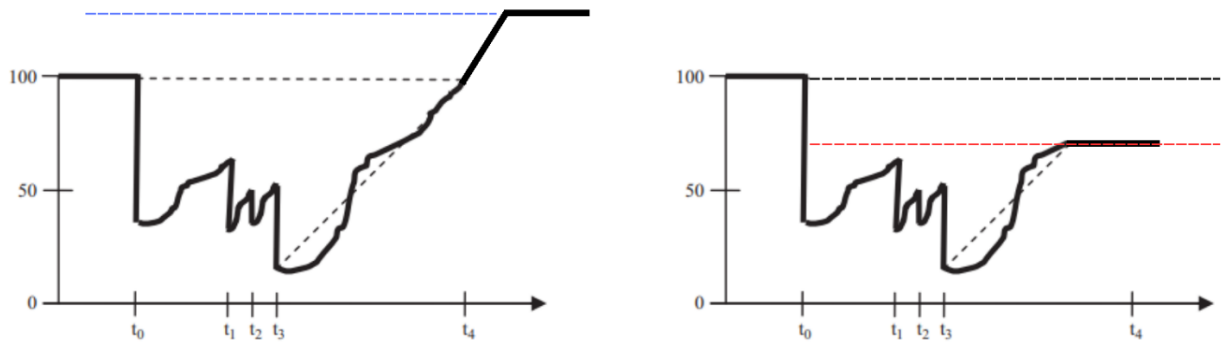
Figura 6 - Gráfico da Resiliência a Multi Eventos



Fonte: Zobel; Khansa (2014)

Integrando o modelo de Cutter *et al. (*2008) com o gráfico da resiliência de Zobel e Khansa, (2014), é possível analisar dois cenários pós-desastres para a resiliência urbana. No primeiro cenário, em que o grau de resiliência do lugar urbano é alto, ou seja, possui instrumentos e infraestruturas resilientes, a recuperação do sistema é positiva. Este cenário resulta em maiores aptidões adaptativas e mitigatórias. Já o segundo cenário prevê uma perda de qualidade de infraestrutura, tendo em vista o baixo grau de resiliência de um local urbano. Isto se dá pelas condições prévias e pós-desastre pouco voltadas para resiliência adaptativa, gerando consequências negativas no local (Figura 7).

Figura 7 - Cenários de recuperação da qualidade de infraestruturas pós-eventos.



Fonte: Zobel; Khansa (2014). Adaptado pelo autor (2024).

Neste contexto, entende-se que a qualidade da infraestrutura perante eventos extremos está ligada às dimensões da resiliência: infraestrutura física, social, econômica e ambiental. As

dimensões apontadas por Wilden e Feldmeyer, (2021) e seus campos de ação para resiliência abrangem:

a) Ambiental: solo e espaços verdes, corpos de água, biodiversidade e ar.
b) Infraestrutura: estruturas de assentamento, energia, telecomunicações, água potável e águas residuais;
c) Economia: Inovação, negócios e estrutura econômica;
d) Sociedade: Pesquisa, conhecimento e competência sobre riscos, assistência à saúde, estrutura sociodemográfica, sociedade civil e proteção civil;
e) Governança: Participação, orçamento municipal, estratégias, planos e administração.

No entanto, ao se tratar de graus de resiliência frente às mudanças climáticas, é necessário estabelecer indicadores para diferentes regiões e tipos de ocorrências. O desenvolvimento de indicadores neste contexto traz desafios específicos, além de enfrentar os desafios conceituais da resiliência climática urbana, a especificidade dos contextos locais representa outro desafio. Consequentemente, é muito importante considerar como incluir a especificidade do contexto no conjunto de indicadores. Outra consideração fundamental diz respeito à natureza específica do contexto, dinâmica e em constante mudança do risco e da vulnerabilidade (Wilden; Feldmeyer, 2021).

2.2.4 Semelhanças no Enfrentamento a Desastres

A partir da análise bibliográfica, foi possível identificar que os conceitos de cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes não caminham sozinhos, pois existem inúmeras semelhanças entre os conceitos. Se formos considerar apenas as dimensões principais de cada conceito de cidade, pode-se listar as dimensões sociais e ambientais que estão presentes nos três conceitos. Na literatura foram identificadas semelhanças e interligações no que tange aos conceitos de cidades inteligentes e resilientes (Ragia; Antoniou, 2020); cidades sustentáveis e resilientes (Khan *et al.*, 2023; Ni'mah; Wibisono; Roychansyah, 2021), e cidades inteligentes e sustentáveis (Balogun *et al.*, 2021; García Fernández; Peek, 2020).

O conceito de cidades inteligentes pode se integrar com os ideais sustentáveis e de resiliência através da construção de mapeamentos utilizando tecnologias *GIS – Geographic Information System*, principalmente na produção de mapas de risco para inundações,

deslizamentos de terra, desertificações, incêndios e terremotos (Ragia; Antoniou, 2020). O mesmo sistema pode ser útil também na análise espacial e temporal de poluentes atmosféricos, por meio da representação de mapas de pontos críticos de risco de poluição e mudanças em seus padrões (Balogun *et al.*, 2021). Os conceitos se cruzam devido ao uso de sistemas tecnológicos e inteligentes envolvendo o uso da informação em prol da construção de resiliência e sustentabilidade nos ambientes urbanos.

Além de demonstrar eficazmente as áreas propensas a perigos naturais, estes mapas também podem ser usados em ordenamento do território ou para a reorganização da área urbana, a fim de torná-la mais segura para os cidadãos e para mitigar impactos nas infraestruturas. Ao combinar mapas de risco com a localização geográfica das infraestruturas críticas, como hospitais, escolas e outros centros públicos, podem ser produzidos mapas de vulnerabilidade. Estes mapas de vulnerabilidade são de extrema importância durante uma catástrofe (Ragia; Antoniou, 2020).

Cidades inteligentes e resilientes mostram que a combinação de diversas camadas de informação combinadas em bases de dados auxilia no mapeamento de áreas críticas para a gestão de riscos, como assentamentos e abrigos, possíveis rotas de evacuação e composição de cenários de análise (Ragia; Antoniou, 2020). Além das ações que toda Cidade Inteligente deve realizar, muitas vezes é inevitável e obrigatório colaborar com outras cidades ou municípios para alcançar resultados eficientes (Ragia; Antoniou, 2020).

Pode-se concluir que o principal acordo entre os diferentes conceitos e autores está na relação da interdisciplinaridade das cidades no enfrentamento da crise climática. Fica evidente que não existe somente uma dimensão a ser analisada, e sim uma série de relações entre elas. Podem ser elencadas as dimensões sociais, políticas, ambientais e econômicas como as principais no agenciamento de mudanças em relação ao clima.

2.3 REVISÃO DE FERRAMENTAS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Nesta seção são apresentados os resultados de uma revisão de ferramentas inovadoras para o apoio à tomada de decisão na gestão de riscos, dentro do contexto de desenvolvimento de cidades sustentáveis, inteligentes e resilientes. A busca pelas ferramentas foi realizada na base de dados Scopus, buscando-se artigos que apresentassem novos métodos através de ferramentas de apoio ao gerenciamento de riscos de desastres. As ferramentas tendem a

aumentar a eficiência dos sistemas, a partir da implementação de indicadores e modelos que possibilitem realizar avaliações institucionais. A adoção desses novos métodos permite que sejam realizadas análises comparativas de diferentes setores e organizações, ou até em escalas nacionais e internacionais.

Desse modo, é perceptível a necessidade da elaboração de ferramentas que ajudem a monitorar e avaliar as metas e ações locais, pois, conhecendo e acompanhando os riscos e vulnerabilidades dos municípios, se aumenta a segurança e qualidade de vida dos moradores. Com o compromisso e iniciativa dos gestores, será possível tornar o atendimento de diretrizes propostas pelas legislações uma medida concreta a ser alcançada (Ferentz; Garcias, 2020).

Para Zhang *et al.* (2020), a construção de um índice de resiliência urbana resulta no desenvolvimento de uma ferramenta cada vez mais popular para monitorar o progresso rumo a cidades resilientes ao clima. Os autores desenvolvem um índice de resiliência urbana que auxilia os planejadores e tomadores de decisão em nível municipal a conduzir a gestão para uma maior resiliência. São usados indicadores sociais, econômicos, de infraestrutura, institucionais e ambientais. Para os autores, é necessário operacionalizar a compreensão internacional da resiliência urbana nos contextos locais. As comunidades locais estão todas em diferentes fases de preparação para adotar e enfrentar os desafios de melhorar a resiliência urbana. É preciso que, localmente nas comunidades, haja compreensão da resiliência urbana às alterações climáticas e haja conhecimento das ferramentas para identificar a influência das políticas governamentais na resiliência local (Zhang *et al.*, 2020).

Já no trabalho de Anelli; Tajani; Ranieri (2022) é desenvolvida uma metodologia baseada em indicadores para a determinação de um índice sintético de risco natural, que representa o grau de exposição a múltiplos desastres nas diferentes áreas suburbanas de uma cidade vulnerável. Os indicadores foram escolhidos a partir dos três principais componentes do risco natural: perigo, exposição e vulnerabilidade. No componente ‘perigo’ são dotados indicadores sísmicos, hidráulicos e de deslizamento de terra; no componente ‘exposição’ os indicadores são voltados a dados como densidade populacional, dados censitários e atividades econômicas locais; e no componente ‘vulnerabilidade’ são adotados indicadores de drenagem do solo, habitações frágeis, habitações em perigo e nível de poluição atmosférica.

Os trabalhos mencionados de Zhang *et al.* (2020) e Anelli; Tajani; Ranieri (2022) podem ser destacados no cenário internacional, devido à sua ampla abrangência de indicadores que

permeiam em múltiplas dimensões analisadas nos conceitos de cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes. Em ambos os trabalhos, a principal semelhança está na forma do uso de critérios para hierarquização de prioridades, com o uso da abordagem *Analytical Hierarchy Process* (AHP) de Saaty (1970), que permite comparar e atribuir pesos às alternativas de critérios. O fluxo da abordagem AHP consiste em: estruturação do problema; definição dos critérios; comparação em pares; e determinação de uma medida global para cada critério, resultando em sua hierarquização. Outros trabalhos em nível internacional possuem enfoques específicos, como na área de avaliação do conhecimento sobre resiliência (Wilden; Feldmeyer, 2021); no uso e avaliação de tecnologias (Khatibi *et al.*, 2024); no diagnóstico de potencial adaptativo (Rędzińska; Piotrkowska, 2020); e na avaliação da inovação na governança (Bellinson; Chu, 2019).

No cenário nacional, alguns trabalhos relacionados à execução de ferramentas com uso de abordagens de critérios e atributos também foram identificados. Um modelo probabilístico de suporte aos tomadores de decisão para priorização de áreas de acordo com o risco de inundação é desenvolvido pelos autores da Silva, Alencar e de Almeida (2022). A ferramenta consiste em um modelo de decisão multiatributo para gerenciar riscos de inundação em áreas urbanas, em que é inserido as declarações de preferência do tomador de decisão, aplicando a abordagem de Tomada de Decisão Multicritérios (MCDM). O modelo considera atributos ambientais, financeiros, humanos, de mobilidade e sociais, como a contaminação das águas, custos financeiros do setor público e privado, perdas de vidas humanas, o impacto na locomoção de veículos na via arterial e a estimativa de demanda de assistência social, estimando as famílias com suas casas impactadas parcialmente ou totalmente.

Ainda no cenário de inundações, o trabalho de Miranda *et al.* (2023) propõe uma abordagem baseada em um índice capaz de avaliar qualitativamente áreas propensas a inundações, com base em um método multicritério de auxílio à tomada de decisão multicritério (MCDM) e desenvolvido em um ambiente GIS. A ferramenta é composta por quatro indicadores. A inclinação ou declividade, foi considerada como o mais importante, visto que em áreas que o curso de um rio tiver declividade alta, a suscetibilidade a inundações será baixa. Portanto, o modelo resulta no produto da declividade com demais indicadores: permeabilidade, proximidade de rede de drenagem e elevação. A ferramenta, apesar de utilizar apenas dados físicos, trouxe resultados positivos para análise, utilizando dados de entrada amplamente

disponíveis, com foco na robustez da análise de suscetibilidade a inundações em regiões costeiras, servindo de suporte ao planejamento urbano.

Para Assis *et al.* (2024), o uso da matriz GUT (Gravidade-Urgência-Tendência) pode ser um facilitador para a gestão de desastres. Os autores utilizam os critérios da matriz para avaliar a gravidade do evento, mensurado através dos prejuízos e dificuldades enfrentadas; a urgência, medida através da necessidade de ações imediatas; e a tendência, medida através das consequências das ações a serem tomadas. Isto resulta em uma matriz matemática e instrui equipes de defesa civil a providenciar ações em áreas prioritárias. Os resultados mostram que, a partir das áreas priorizadas pela matriz, é possível montar um cronograma de visitas e instruções à comunidade das áreas em risco, bem como traçar medidas de prevenção de desastres.

No trabalho de De Magalhães *et al.* (2022), é desenvolvida uma ferramenta para tomada de decisão do planejamento urbano resiliente. O método compreendeu relacionar as experiências dos gestores urbanos com a literatura de estratégias resilientes, agrupando em cinco grupos os potenciais riscos que possam causar estresse na infraestrutura urbana: ambientais, antropização, social e econômico, comunicação e transporte, e estrutural. A ferramenta possibilita identificar os principais riscos que possam causar impacto na resiliência da infraestrutura e ter consequências sociais, ambientais e econômicas. Os resultados do trabalho revelam que as ferramentas de gestão de risco poderiam promover uma análise abrangente das oportunidades e ameaças da rede de infraestrutura.

A revisão das ferramentas de apoio à gestão de riscos possibilitou identificar abordagens similares. A Tabela 1 mostra as principais ferramentas identificadas na literatura e abordagens utilizadas. A abordagem MCDM é comumente utilizada pelos autores. Esta abordagem é um conjunto de métodos e técnicas utilizadas para apoiar a tomada de decisão em problemas que envolvem múltiplos critérios. Esse tipo de abordagem é amplamente aplicado em diversas áreas, como gestão, engenharia, economia e planejamento estratégico, onde é necessário avaliar diferentes alternativas com base em múltiplos fatores. Os métodos MCDM ajudam a estruturar e quantificar as preferências dos tomadores de decisão, permitindo a comparação objetiva entre alternativas e facilitando a escolha da opção mais adequada conforme os objetivos estabelecidos (Taherdoost; Madanchian, 2023).

O AHP é um dos métodos mais conhecidos dentro da abordagem MCDM. O AHP permite decompor um problema complexo de decisão em uma hierarquia de critérios e subcritérios, facilitando a análise comparativa entre alternativas. O método utiliza julgamentos de pares para determinar pesos relativos dos critérios, transformando opiniões subjetivas em valores numéricos. Através do cálculo de matrizes de comparação e da verificação da consistência dos julgamentos, o AHP fornece um ranking das alternativas, ajudando na escolha da melhor decisão com base em critérios bem definidos e ponderados (Saaty, 1970).

Dentre a vasta gama de áreas em que a abordagem MCDM pode ser utilizada, está a gestão de riscos de desastres. Muitas vezes, a tomada de decisão pode ser decidida por questões racionais, mas, por outro lado, pode ser decidida por suposições implícitas ou explícitas, influenciada por fatores fisiológicos, biológicos, culturais e sociais. Todas estas questões podem afetar o nível de complexidade de um processo de tomada de decisão e, para isso, abordagens como a MCDM possibilitam que processos de tomada de decisão complexos sejam resolvidos com equações e matrizes matemáticas, estatísticas, teorias econômicas e modelos de usos de dados (Taherdoost; Madanchian, 2023). Neste sentido, as ferramentas de apoio a gestão de riscos, voltadas para a tomada de decisão, desempenham esse papel crucial no encaminhamento de ações concretas para as áreas de risco, e é fundamental apoiar os avanços científicos nesta área (De Magalhães *et al.*, 2022; Ferentz; Garcias, 2020).

Tabela 1 - Ferramentas e respectivos métodos identificados.

Título	**Autores**	**Ferramenta Proposta**	**Fenômenos considerados**	**Escala de análise**	**Método/Abordagem**
Measuring urban resilience to climate change in three Chinese cities	(Zhang *et al.*, 2020)	Estrutura conceitual (*framework*) de avaliação da resiliência urbana dentro do contexto local urbano da China.	Resiliência frente às mudanças climáticas	Urbana	*Analytical Hierarchy Process* (AHP) com consulta a 36 especialistas.
Urban planning and design for building neighborhood resilience to climate change	(Rędzińska; Piotrkowska, 2020)	Procedimento de construção de resiliência em bairros, incluindo estratégias de identificação, diagnóstico e potencial adaptativo.	Desenvolvimento e morfologia urbana	Urbana- bairros	Estudo de caso; Avaliação de critérios usando média aritmética ponderada e média geométrica ponderada.
Urban resilience against natural disasters: Mapping the risk with an innovative indicators-based assessment approach	(Anelli; Tajani; Ranieri, 2022)	Metodologia baseada em indicadores para determinação de índice sintético de risco natural, contendo em oito fases sequenciais e 23 indicadores. Aplicação em Roma – Itália.	Fenômenos sísmicos, aluviais, hidráulicos e deslizamentos de terra.	Urbana	*Analytical Hierarchy Process* (AHP); *Multi-criteria decision-making* (MCDM).
An Event-Based Resilience Index to Assess the Impacts of Land Imperviousness and Climate Changes on Flooding Risks in Urban Drainage Systems	(Li *et al.*, 2023)	Índice de resiliência baseado em eventos para medir os impactos das alterações climáticas e da urbanização nas inundações urbanas. Aplicação em Salt Lake City, Utah, USA	Inundações	Urbana	Simulação de escala de inundação urbana com Storm Water Management Model (SWMM).
Navigating Climate Change Challenges through Smart Resilient Cities: A Comprehensive Assessment Framework	(Khatibi *et al.*, 2024)	Quadro de avaliação de Cidades Inteligentes e Resilientes, resultando em um índice semiquantitativo que reflete a posição da cidade em relação à resiliência e inteligência face às alterações climáticas.	Sistemas de águas urbanas	Urbana	Analytic hierarchy process (AHP).

Uso da matriz GUT como ferramenta voltada para o planejamento estratégico de ações voltadas para a gestão de riscos de desastres (GRD)	(Assis *et al.*, 2024)	Ferramenta com o uso dos critérios da matriz GUT – Gravidade, Urgência e Tendência para a priorização de ações de defesa civil em eventos extremos. Aplicação em Juiz de Fora, MG.	Fenômenos hidrológicos e geológicos	Urbana-setores de risco	Matriz GUT
The risk management tools 'role for urban infrastructure resilience building	(De Magalhães *et al.*, 2022)	Ferramenta de gestão de riscos que foi incorporada ao processo de tomada de decisão do planejamento urbano, aplicada a estudo de caso em Porto Alegre/RS.	Inundações, movimentos de terra e outros.	Urbana	Analytical Hierarchy Process (AHP).
A novel spatiotemporal multi-attribute method for assessing flood risks in urban spaces under climate change and demographic scenarios.	(da Silva; Alencar; de Almeida, 2022)	Ferramenta multiatributo com dados de preferência dos tomadores de decisão para avaliação de áreas de risco a inundações.	Inundações	Urbana	*Multi-criteria decision-making* (MCDM)
A GIS-Based Index of Physical Susceptibility to Flooding as a Tool for Flood Risk Management	(Miranda *et al.*, 2023)	Ferramenta de avaliação de áreas costeiras propensas a inundações com base em indicadores físicos, aplicada a estudo de caso no Rio de Janeiro/RJ.	Inundações	Urbana	*Multi-criteria decision-making* (MCDM) em ambientes GIS.

Fonte: Autor (2025).