

**Urbanização e vulnerabilidade a inundações na bacia do Rio dos Sinos:
diretrizes de infraestrutura verde-azul para a resiliência urbana em São
Leopoldo (RS)**

Izabele Colusso

Arquiteta e Urbanista, Doutora em Planejamento Urbano e Regional
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
ICOLUSSO@unisinos.br
<https://orcid.org/0000-0003-1802-6818>

Cibele Kunzler

Arquiteta e Urbanista
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
kunzler.cibele@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-7989-8236>

Eduarda Elicker Michelin

Arquiteta e Urbanista
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
eduarda.michelon456@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-8243-7280>

Rafael Frutuoso da Costa

Graduando em Arquitetura e Urbanismo
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
xrafaelcostax@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-4362-6873>

Sabrina da Motta Meller

Arquiteta e Urbanista, Especialista em Cidades, Mestranda em Design Estratégico
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
sabinammeller@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-7887-9759>

Urbanização e vulnerabilidade a inundações na bacia do Rio dos Sinos: diretrizes de infraestrutura verde-azul para a resiliência urbana em São Leopoldo (RS)

RESUMO

Objetivo – Analisar a relação entre a expansão urbana e a ocorrência de inundações no município de São Leopoldo (RS), inserido na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, identificando áreas de vulnerabilidade territorial e discutindo estratégias de adaptação baseadas em Infraestruturas Verdes e Azuis e Soluções Baseadas na Natureza.

Metodologia – A pesquisa combina revisão bibliográfica sobre resiliência urbana, gestão de recursos hídricos e infraestrutura verde com análise espacial realizada por meio de cartografia digital e técnicas de geoprocessamento. Essa pesquisa está sendo financiada pela instituição de pesquisa FAPERGS. Foram utilizados dados geoespaciais da plataforma MapBiomas, imagens de satélite e modelagens em ambiente SIG para comparar a evolução do uso do solo, identificar ocupações em Áreas de Preservação Permanente e sobrepor manchas históricas de inundação à malha urbana atual.

Originalidade/Relevância – O estudo contribui para o debate sobre adaptação climática em cidades brasileiras ao integrar análise territorial detalhada com o conceito de infraestrutura verde e azul aplicado à escala municipal, evidenciando conflitos espaciais entre urbanização e dinâmica hidrológica.

Resultados – Os resultados indicam expansão significativa da mancha urbana nas últimas décadas, acompanhada pela redução de áreas vegetadas e pela ocupação progressiva de zonas suscetíveis a inundação, incluindo Áreas de Preservação Permanente.

Contribuições teóricas/metodológicas – O trabalho demonstra o potencial do uso integrado de geoprocessamento e cartografia digital como ferramentas de diagnóstico territorial voltadas ao planejamento urbano resiliente.

Contribuições sociais e ambientais – A pesquisa propõe diretrizes de planejamento urbano baseadas em parques lineares, bacias de retenção e zonas de controle da ocupação, contribuindo para reduzir riscos hidrológicos e restaurar funções ecológicas da paisagem.

PALAVRAS-CHAVE: Resiliência urbana. Infraestrutura verde e azul. Inundações urbanas. Planejamento territorial. Bacia do Rio dos Sinos.

Urbanization and flood vulnerability in the Rio dos Sinos watershed: green-blue infrastructure guidelines for urban resilience in São Leopoldo (RS)

ABSTRACT

Objective – Analyze the relationship between urban expansion and the occurrence of floods in the municipality of São Leopoldo (RS), located in the Rio dos Sinos watershed, identifying areas of territorial vulnerability and discussing adaptation strategies based on Green and Blue Infrastructures and Nature-Based Solutions.

Methodology – The research combines a bibliographic review on urban resilience, water resource management, and green infrastructure with spatial analysis conducted through digital cartography and geoprocessing techniques. This research is being funded by the FAPERGS research institution. Geospatial data from the MapBiomas platform, satellite images and modeling in a GIS environment were used to compare the evolution of land use, identify occupations in Permanent Preservation Areas and overlay historical flood extents with the current urban grid.

Originality/Relevance – The study contributes to the debate on climate adaptation in Brazilian cities by integrating detailed territorial analysis with the concept of green and blue infrastructure applied at the municipal scale, highlighting spatial conflicts between urbanization and hydrological dynamics.

Results – The results indicate significant expansion of the urban area in recent decades, accompanied by the reduction of vegetated areas and the progressive occupation of flood-prone zones, including Permanent Preservation Areas.

Theoretical/Methodological Contributions – The work demonstrates the potential of the integrated use of geoprocessing and digital cartography as territorial diagnostic tools aimed at resilient urban planning.

Social and Environmental Contributions – The research proposes urban planning guidelines based on linear parks, detention basins and land occupation control zones, contributing to reduce hydrological risks and restore ecological functions of the landscape.

KEYWORDS: Urban resilience. Green and blue infrastructure. Urban floods. Territorial planning. Rio dos Sinos watershed.

Urbanización y vulnerabilidad a inundaciones en la cuenca del Río dos Sinos: directrices de infraestructura verde-azul para la resiliencia urbana en São Leopoldo (RS)

RESUMEN

Objetivo – Analizar la relación entre la expansión urbana y la ocurrencia de inundaciones en el municipio de São Leopoldo (RS), inserto en la cuenca hidrográfica del Río dos Sinos, identificando áreas de vulnerabilidad territorial y discutiendo estrategias de adaptación basadas en Infraestructuras Verdes y Azules y Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Metodología – La investigación combina revisión bibliográfica sobre resiliencia urbana, gestión de recursos hídricos e infraestructura verde con análisis espacial realizado mediante cartografía digital y técnicas de geoprociamiento. Esta investigación está siendo financiada por la institución de investigación FAPERGS. Se utilizaron datos geoespaciales de la plataforma MapBiomas, imágenes de satélite y modelaciones en ambiente SIG para comparar la evolución del uso del suelo, identificar ocupaciones en Áreas de Preservación Permanente y superponer manchas históricas de inundación a la malla urbana actual.

Originalidad/Relevancia – El estudio contribuye al debate sobre adaptación climática en ciudades brasileñas al integrar análisis territorial detallado con el concepto de infraestructura verde y azul aplicado a la escala municipal, evidenciando conflictos espaciales entre urbanización y dinámica hidrológica.

Resultados – Los resultados indican expansión significativa de la mancha urbana en las últimas décadas, acompañada por la reducción de áreas vegetadas y por la ocupación progresiva de zonas susceptibles a inundación, incluyendo Áreas de Preservación Permanente.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – El trabajo demuestra el potencial del uso integrado de geoprociamiento y cartografía digital como herramientas de diagnóstico territorial orientadas a la planificación urbana resiliente.

Contribuciones Sociales y Ambientales – La investigación propone directrices de planificación urbana basadas en parques lineales, cuencas de detención y zonas de control de la ocupación, contribuyendo a reducir riesgos hidrológicos y restaurar funciones ecológicas del paisaje.

PALABRAS CLAVE: Resiliencia urbana. Infraestructura verde y azul. Inundaciones urbanas. Planificación territorial. Cuenca del Río dos Sinos.

1 INTRODUÇÃO: O LEGADO DA URBANIZAÇÃO SOBRE AS ÁGUAS

As cidades contemporâneas enfrentam desafios crescentes relacionados à intensificação de eventos hidrológicos extremos, frequentemente agravados pela expansão urbana sobre áreas ambientalmente sensíveis. A impermeabilização do solo, a ocupação de planícies de inundação e a modificação de sistemas fluviais alteram significativamente a dinâmica hidrológica natural, ampliando a vulnerabilidade urbana a enchentes e alagamentos.

Historicamente, a gestão das águas urbanas baseou-se predominantemente em soluções de engenharia tradicional, caracterizadas por obras hidráulicas rígidas, como canalizações, diques e sistemas de bombeamento. Embora essas infraestruturas tenham desempenhado papel importante na proteção das cidades, estudos recentes apontam suas limitações diante do contexto contemporâneo de mudanças climáticas, que exige estratégias mais adaptativas e integradas aos sistemas naturais.

Nesse cenário, ganham relevância as chamadas **Soluções Baseadas na Natureza (SBN)** e as **Infraestruturas Verdes e Azuis**, abordagens que buscam integrar processos ecológicos ao planejamento urbano, restaurando funções hidrológicas da paisagem e ampliando a resiliência territorial.

No contexto brasileiro, cidades situadas em bacias hidrográficas intensamente urbanizadas apresentam conflitos recorrentes entre a expansão urbana e a dinâmica natural dos rios. Esse é o caso de São Leopoldo (RS), município inserido na bacia do Rio dos Sinos, cuja ocupação histórica ocorreu em grande medida sobre áreas de planície fluvial.

A recorrência de episódios de inundação — intensificados pelo evento extremo ocorrido no Rio Grande do Sul em 2024 — evidencia a necessidade de compreender de forma mais aprofundada a relação entre o processo de urbanização e o funcionamento do sistema hidrológico regional.

Diante desse contexto, o presente estudo é parte de uma extensa pesquisa interdisciplinar financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do RS (FAPERGS), intitulada Cidadania Viva, e tem como objetivo analisar a relação entre a expansão urbana e as manchas de inundação no município de São Leopoldo, por meio de análise espacial baseada em cartografia digital e geoprocessamento. A partir desse diagnóstico territorial, o trabalho busca identificar áreas de maior vulnerabilidade e propor diretrizes de planejamento urbano baseadas em Infraestruturas Verdes e Azuis e Soluções Baseadas na Natureza.

2 REFERENCIAL TEÓRICO: RESILIÊNCIA EM TERRITÓRIOS CONSOLIDADOS

O conceito de resiliência urbana vem sendo amplamente discutido na literatura acadêmica, apresentando diferentes interpretações conforme a área do conhecimento que o aborda. Meerow et al. (2016), em revisão conceitual sobre o termo, constatam que o conceito de resiliência apresenta múltiplas definições e vem sendo desenvolvido a partir de contribuições de diferentes áreas do conhecimento. Os autores identificaram 6 pontos de tensão conceitual, fundamentais para a clara definição de resiliência urbana, pois demonstram que o contexto das cidades é demasiado abrangente.

O primeiro ponto de tensão citado pelos autores trata da definição conceitual do termo “urbano”. Pode-se considerar urbano uma delimitação física, uma infraestrutura, um conjunto de relações entre pessoas, um ecossistema complexo, entre outros. A abordagem é

variável conforme a disciplina de estudo que a emprega. O segundo ponto fala sobre a definição de “equilíbrio”. Enquanto o termo pode ser definido como o retorno a um mesmo ponto ou o retorno a um estado não necessariamente igual ao último, os autores percebem que quando se trata do contexto urbano, o equilíbrio acontece por um processo de constante mudança, ou seja, um estado de não-equilíbrio.

O terceiro ponto questiona se resiliência é algo necessariamente bom e positivo ou se pode ser neutro ou negativo. De maneira geral, concluiu-se através da revisão bibliográfica que resiliência é algo desejável, porém questionável. O quarto ponto de tensão determina que os caminhos para resiliência são a persistência, a transição e a transformação. O quinto ponto demonstra a importância de se propor soluções para situações variadas e desconhecidas, não só para situações conhecidas. Finalmente, o sexto ponto discorre sobre a escala do tempo, questionando sobre o prazo para a resiliência ocorrer.

Apesar das diversas conceituações, o estudo de Meerow et al. (2016) evidencia que o conceito de resiliência urbana está fortemente ligado a como as cidades lidam com efeitos climáticos. Brown et al. (2012) afirmam que se trata da capacidade de resposta dinâmica e efetiva a circunstâncias climáticas, mantendo suas funções ativas em nível adequado. Um dos mais preocupantes riscos aos quais as cidades estão expostas é a ocorrência de inundações, sendo este o tipo mais frequente de desastre natural, e seu risco está aumentando. Estima-se que as perdas por inundações ultrapassaram US\$ 40 bilhões em anos excepcionais (Browder et al., 2019).

Tecidos urbanos que se relacionam com corpos d’água são altamente vulneráveis a inundações e demais riscos agravados por mudanças climáticas. Nesse contexto, o planejamento urbano desempenha papel central na construção de cidades resilientes, ao orientar a ocupação do território e integrar estratégias capazes de lidar com os processos naturais da água no ambiente urbano. É evidente a necessidade de planejamentos urbanos que gerenciem os processos dinâmicos da água ao mesmo tempo em que a reintegram à cidade de maneira funcional e paisagística (Castañeda et al., 2026).

Cidades são sistemas socioecológicos complexos e, como evidenciam Meerow et al. (2016), na busca por resiliência, outras dimensões de funcionamento devem ser levadas em consideração. Estratégias de resiliência a inundações respondem a vulnerabilidade das cidades, transformando a água de uma ameaça para um elemento importante, estruturador do território (Castañeda et al., 2026), podendo atuar como instrumento sustentável para criação de soluções sociais e econômicas. Como destacado por Campanella (2006), deve-se considerar a resiliência urbana do ponto de vista das relações humanas. Além de reconstruir espaços físicos, torna-se necessário considerar as dinâmicas sociais, identitárias e culturais.

Diante desse cenário, a forma como as cidades lidam historicamente com a água torna-se um elemento central para compreender os caminhos da resiliência urbana. Nas últimas décadas, emergem estratégias que buscam integrar os processos naturais da água ao planejamento urbano, dando origem a abordagens como Soluções Baseadas na Natureza e Infraestruturas Verdes e Azuis.

2.1 Conceituação Evolutiva

Diversas cidades do Brasil e do mundo lidam com problemas de inundação. Estima-se que, até 2050, cerca de 20% da população mundial estará em risco devido a inundações (WWAP,

2018). Os ecossistemas fluviais sofrem degradação devido a ocupação de áreas inadequadas e urbanização acelerada, causando a destruição de habitats inteiros adjacentes aos rios. O interesse na reintegração de corpos d'água como componentes importantes das áreas metropolitanas é crescente, tendo tido uma mudança de paradigma nas últimas décadas quanto a infraestruturas para gestão de áreas fluviais, sua funcionalidade e integração com a cidade (Castañeda et al., 2026).

As respostas da sociedade moderna a desastres climáticos entre os anos 50 e 80 foram de combate a cheias e proteção das cidades através das tradicionais engenharias cinzas. Os autores Browder et al. (2019) as definem como soluções de infraestrutura construídas e equipamentos mecânicos inseridos em bacias hidrográficas ou ecossistemas costeiros, cujos atributos ambientais podem afetar o desempenho das soluções empregadas. O controle se dá através de canalizações, bombas, tubulações, entre outros. Castañeda et al. (2026) aponta que as principais limitações deste tipo de solução são a degradação ecológica, a desconexão rio-cidade e os sistemas rígidos, que confiam em soluções construídas para garantir a segurança da sociedade. Contudo, essa abordagem não promove a resiliência climática necessária no século XXI (Browder et al., 2019).

Entre as décadas 1980 e 2000 o debate ecológico foi sendo aprofundado (Castañeda et al., 2026). O aquecimento global tem mostrado que as infraestruturas precisam estar preparadas para lidar com desastres ainda mais severos, sendo necessárias soluções mais resilientes, que não ignorem e venham a degradar os ecossistemas naturais (Browder et al., 2019). No final da década de 2000 o termo "Soluções Baseadas na Natureza" emerge. A significativa mudança de perspectiva mostra que a população não precisa ser somente uma usuária passiva dos recursos naturais, mas pode gerir e restaurar ecossistemas de maneira ativa, ainda contribuindo para outros importantes desafios sociais (Cohen-Shacham et al., 2016).

As Infraestruturas Verdes e Azuis são aplicações desse tipo de estratégia. As infraestruturas verdes referem-se a redes planejadas de áreas naturais e elementos cobertos por vegetação que fornecem serviços ecossistêmicos como regulação climática, drenagem, biodiversidade e lazer (Benedict; McMahon, 2006). A abrangência se expande além dos sistemas terrestres, envolvendo também os aquáticos, que foram chamados de infraestruturas azuis. Este tipo de solução, assim como outras SBN, é relevante pois busca responder não só a questões ambientais, mas também sociais e econômicas, promovendo simultaneamente a conservação da biodiversidade, a adaptação climática e o bem-estar humano (Kabisch et al., 2017).

Atualmente, vem se aprofundando debates sobre "infraestrutura de próxima geração", que propõe a combinação de infraestruturas verdes e cinzas de forma harmônica. A implementação desse tipo de solução ainda está em estágios iniciais (Browder et al., 2019). Castañeda et al. (2026) define as soluções ecológicas com técnicas combinadas e o design multifuncional para resiliência como as principais características desta solução, porém aponta que os desafios de implementação e as necessidades de planejamento em diferentes escalas são limitações a serem levadas em consideração.

Analisando a perspectiva ao longo dos anos, percebe-se uma mudança de abordagem, antes focada em resistência estrutural, agora preocupada na adaptação ecológica, compreendendo água e território como sistemas vivos e interdependentes. (Castañeda et al., 2026). A aplicação e compreensão de Soluções Baseadas na Natureza representam não apenas uma resposta imediata aos efeitos da mudança climática, mas também uma oportunidade para

repensar o desenvolvimento urbano sob uma perspectiva mais integrada, inclusiva e sustentável (Kabisch et al., 2017).

2.2 Marco Legal

O debate sobre mudanças climáticas é um assunto de interesse global, tendo sido fortemente influenciado por iniciativas promovidas pela Organização das Nações Unidas (ONU). A principal delas foi a criação da Agenda 2030, adotada em 2015 pelos Estados membros da organização, que estabelece um plano de ação voltado a soluções a desafios comuns entre eles nos âmbitos social, econômico e ambiental. O plano propõe 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (United Nations, 2015), dos quais se destaca o Objetivo 11 (ODS 11), relacionado ao contexto de infraestrutura urbana. Ele visa tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis, estabelecendo metas como melhoria da urbanização participativa e redução dos impactos ambientais urbanos, além de também priorizar a redução da vulnerabilidade a desastres naturais, fortalecendo a resiliência das cidades frente às mudanças climáticas e eventos extremos.

Nesse contexto, estratégias de planejamento urbano e Soluções Baseadas na Natureza com Infraestruturas Verdes e Azuis são significativas na implementação de políticas alinhadas ao ODS 11. Elas permitem também preservar o patrimônio natural e cultural, reduzir vulnerabilidades sociais e ambientais e oferecer espaços públicos acessíveis e saudáveis, contribuindo dessa forma para outros objetivos da Agenda 2030, como a redução das desigualdades (ODS 10) e ação contra a mudança global do clima (ODS 13). Outro marco internacional relevante é o Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, adotado em março de 2015 na Terceira Conferência Mundial de Redução do Risco de Desastres organizada pelo United Nation Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). O documento propõe que as cidades estejam prevenidas e dispostas a reduzir riscos, através de quatro prioridades de ação: compreender o risco de desastre; fortalecer a governança do risco; investir na redução de risco para promover resiliência; e melhorar a preparação para resposta, recuperação, reabilitação e reconstrução com o princípio de “Build Back Better” (UNISDR, 2015).

No contexto brasileiro, essas diretrizes internacionais dialogam com diferentes marcos legais voltados à gestão de riscos, planejamento urbano e proteção ambiental. Apesar de ter sido instituído antes da Agenda 2030, o Estatuto da Cidade (EC) é uma lei federal que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição, e que se relaciona com os objetivos internacionais ao estabelecer instrumentos de planejamento urbano com objetivo de “ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana”, por meio de diretrizes como garantir o direito a cidades sustentáveis e planejar a distribuição espacial das cidades para corrigir efeitos negativos da ocupação sobre o meio ambiente (Brasil, 2001).

O marco institucional sobre mudanças climáticas no país foi a Lei 12.187/2009, que instituiu o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), o qual considera cidades como unidade territorial, estabelecendo objetivos e instrumentos para lidar com mudanças climáticas e criando bases de ação para mitigação e adaptação no país frente a essas mudanças. Ela exige a consideração das mudanças climáticas no planejamento das cidades e incentiva a implementação de sistemas sustentáveis de produção e consumo (Machado et al., 2025).

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei 12.608/2012, tem como diretrizes a prioridade para ações preventivas de minimização de

desastres e a adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise para desastres relacionados a corpos d'água. Dentre seus objetivos, destacam-se: promover processos sustentáveis de urbanização e o desenvolvimento de cidades resilientes; identificar e avaliar ameaças para evitar ou reduzir sua ocorrência; e ordenar a ocupação do solo para proteger a vegetação nativa, recursos hídricos e a vida humana (Brasil, 2012). A lei também reforça o papel dos municípios na criação de planejamentos urbanos mais sustentáveis e seguros, responsabilizando-os pela identificação de áreas de risco, proposição de planos preventivos e inclusão de gestão de riscos nos planos diretores (Machado et al., 2025).

Em 2024, implementa-se a Lei 14.904 que estabelece diretrizes para elaboração de planos de adaptação às mudanças climáticas. Nela, determina-se a consideração da gestão de risco a mudanças climáticas nos planos municipais, incluindo como diretrizes a priorização de setores mais vulneráveis e a adoção de soluções baseadas na natureza como estratégias de adaptação (Brasil, 2024).

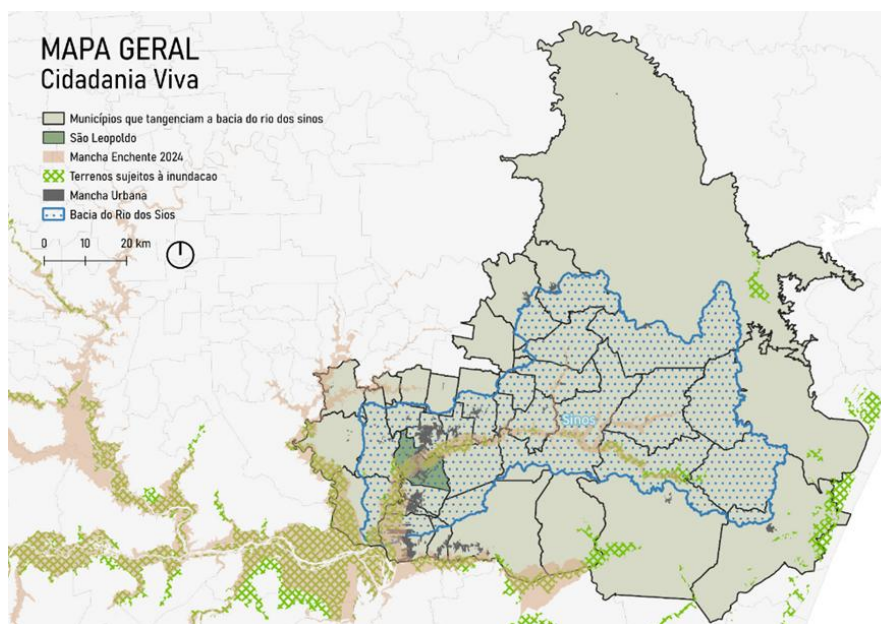
O conjunto desses marcos internacionais e nacionais evidenciam um cenário que se relaciona a mudanças climáticas através de redução de riscos, adaptação e resiliência das cidades. A fim de lidar com eventos extremos, torna-se necessária a integração entre planejamento urbano e gestão ambiental. Considerando esse arcabouço institucional e conceitual, mostra-se fundamental a adoção de estratégias que levem em conta os sistemas naturais. Em se tratando de recursos hídricos, a análise do comportamento dos corpos d'água e a dinâmica das bacias hidrográficas é relevante para o planejamento da gestão dos riscos e compreensão de como as cidades podem implementar essas estratégias, a fim de se tornarem mais resilientes.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Bacia do Rio dos Sinos

A bacia hidrográfica do Rio dos Sinos está localizada na porção leste do Rio Grande do Sul, abrangendo uma área de aproximadamente 3.694 km², o que corresponde a cerca de 1,3% do território estadual. A bacia engloba 30 municípios e uma população aproximada de 1,44 milhão de habitantes. Seu principal curso d'água é o Rio dos Sinos, com cerca de 190 km de extensão, desde sua nascente no município de Caraá até sua foz em Canoas. A rede de drenagem formada por seus afluentes possui aproximadamente 3.471 km de extensão. O mapa apresentado a seguir (Figura 1) ilustra a localização da bacia, destacando o perímetro dos municípios abrangidos, as manchas urbanas e a sobreposição da área inundada durante o evento extremo de 2024, evidenciando o impacto da enchente nas cidades inseridas nesse sistema hidrográfico (COMITESINOS, 2013).

Figura 1 – Mapa da Bacia do Rio dos Sinos com todos os cursos d’água, manchas de inundação e manchas urbanas

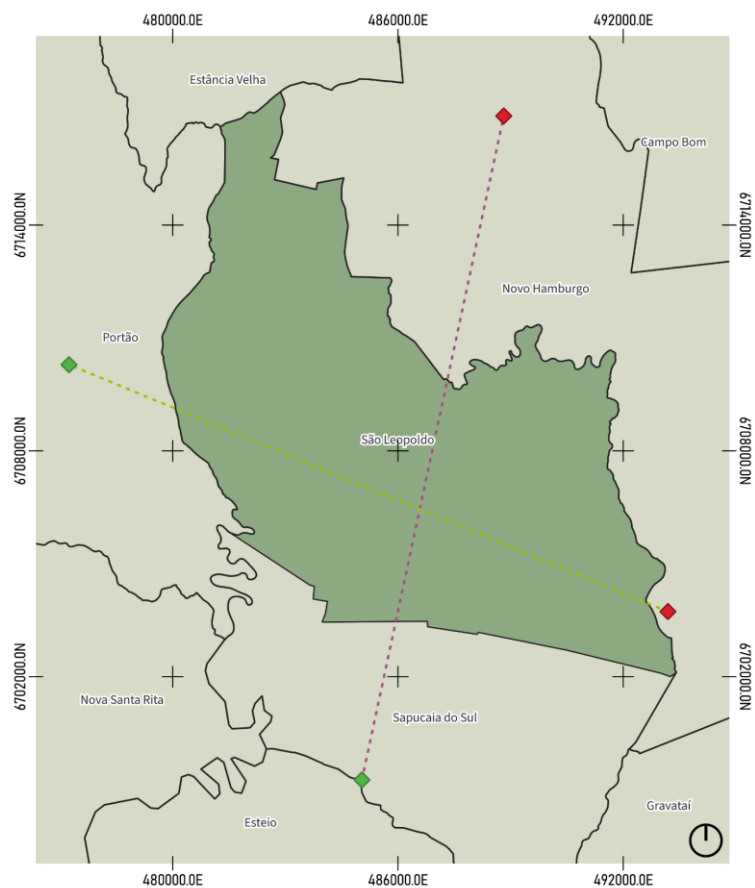


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Características geomorfológicas de São Leopoldo

As enchentes fizeram parte de um funcionamento natural do sistema fluvial do rio, visto que, sob análise da morfologia da cidade de São Leopoldo, ela se caracteriza como uma área de planície aluvial, formada por sedimentos depositados ao longo de milhares de anos, resultando em um terreno bastante plano com baixa altitude da área urbanizada em relação ao rio (Figura 2). Outra característica são os solos sedimentares pouco drenantes juntamente com a grande área urbanizada que fazem com que a água demore mais para escoar e facilitam o acúmulo da água durante chuvas fortes. Além disso, a posição do município no trecho inferior da bacia hidrográfica intensifica a convergência de fluxos provenientes das áreas a montante, aumentando a suscetibilidade a inundações durante eventos pluviométricos intensos (Bazzan, 2011).

Figura 2 – Mapa de São Leopoldo indicando os cortes que caracterizam a zona de planície fluvial



Posicionamento dos cortes

Legenda

- Municípios da bacia do rio dos sinos
- São Leopoldo
- Linha de Corte A
- Linha de Corte B
- Início do corte
- Fim do corte

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 – Mapa de declividade longitudinal da cidade de São Leopoldo, em que a parte baixa se caracteriza por ser a área central da cidade



Fonte: Elaborado pelos autores com interação no Google Earth.

Figura 4 – Mapa de declividade transversal da cidade de São Leopoldo, em que a parte baixa se caracteriza por ser a área central da cidade



Fonte: Elaborado pelos autores com interação no Google Earth.

A suscetibilidade de São Leopoldo ao acúmulo de águas está associada à sua posição no trecho inferior da bacia do Rio dos Sinos, à presença de uma extensa planície aluvial sujeita a inundações naturais e à baixa declividade do relevo (Figuras 3 e 4), fatores geomorfológicos que reduzem a capacidade de drenagem e favorecem a expansão lateral das águas durante eventos de cheia. (Bazzan (2011)).

3.3 Dinâmica hidrológica e suscetibilidade a inundações

O Rio dos Sinos desempenha papel fundamental na organização da rede hidrográfica e na dinâmica territorial da região metropolitana do Rio Grande do Sul. Inserido em uma bacia hidrográfica composta por diversos cursos d'água interligados, o rio configura-se como o principal eixo de drenagem, recebendo contribuições de arroios e afluentes distribuídos ao longo das diferentes porções da bacia (COMITESINOS, 2013).

Sob a perspectiva da hierarquia fluvial, a rede de drenagem pode ser compreendida a partir da organização dos cursos d'água em diferentes ordens, conforme proposto pelo método de Strahler (1957). Nesse sistema, os cursos de menor ordem localizam-se predominantemente nas áreas de cabeceira e encosta, conduzindo o escoamento superficial para canais de maior porte que, progressivamente, convergem para o curso principal do Rio dos Sinos. Esse processo evidencia a função integradora do rio dentro da bacia hidrográfica, concentrando os fluxos provenientes de diferentes setores do território (Christofoletti, 1981).

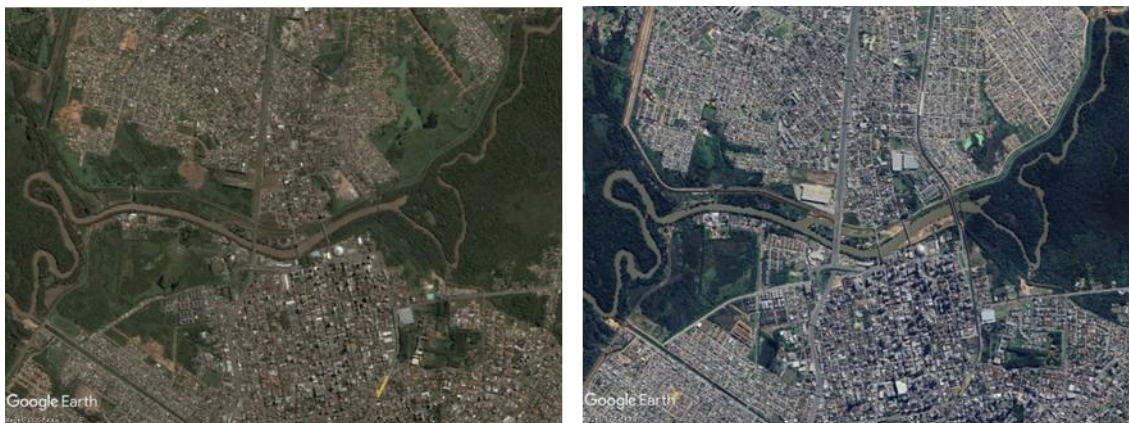
Outro conceito relevante para compreender essa dinâmica é o da conectividade hidrológica, que se refere ao grau de ligação entre os diferentes elementos da paisagem, como encostas, cursos d'água e planícies fluviais, permitindo o transporte de água, sedimentos e nutrientes ao longo do sistema fluvial (Bracken; Croke, 2007). No contexto da bacia do Rio dos Sinos, essa conectividade possibilita que eventos pluviométricos intensos ocorridos nas porções superiores da bacia resultem em aumento significativo das vazões nos trechos inferiores, onde se localizam importantes centros urbanos, como os municípios de Novo Hamburgo, São Leopoldo e Canoas. Nessas cidades, o rio exerce funções essenciais relacionadas ao abastecimento hídrico, à drenagem urbana e à manutenção de ecossistemas associados às planícies de inundação (Bazzan, 2011).

Entretanto, a intensa urbanização nas margens do rio e em suas áreas de várzea tem provocado alterações significativas na dinâmica hidrológica da bacia (Figuras 5 e 6). O aumento da impermeabilização do solo, a ocupação de áreas naturalmente sujeitas a inundação e a modificação dos cursos d'água contribuem para a ampliação da vulnerabilidade urbana a eventos hidrológicos extremos (Tucci, 2005). Nesse contexto, episódios recentes de inundação

demonstram como a interação entre a estrutura hierárquica da rede de drenagem e os processos de urbanização pode potencializar os impactos das cheias nas cidades inseridas na bacia do Rio dos Sinos.

Dessa forma, compreender a hierarquia hídrica e a conectividade dos sistemas fluviais torna-se fundamental para o planejamento territorial, para a gestão integrada dos recursos hídricos e para a formulação de estratégias de mitigação de riscos associados às inundações em áreas metropolitanas.

Figura 5 e 6 – Mapas de contexto histórico da cidade de São Leopoldo, à esquerda – ano 2003, à direita – ano 2025, pode-se notar o adensamento construído ao longo das margens do rio



Fonte: Elaborado pelos autores com interação no Google Earth.

4 O CONFLITO ESPACIAL: MAPEAMENTOS E SOBREPOSIÇÕES HISTÓRICAS

4.1 Evolução do uso do solo no eixo do Rio dos Sinos

A análise da evolução do uso do solo no município de São Leopoldo foi realizada a partir de dados da plataforma MapBiomas, considerando o recorte temporal entre os anos de 1987 e 2024. O objetivo foi identificar as transformações ocorridas no eixo do Rio dos Sinos, especialmente em relação à perda de áreas vegetadas e superfícies permeáveis, que desempenham papel fundamental na regulação hidrológica e na mitigação de eventos extremos.

Os resultados indicam uma redução significativa das áreas naturais ao longo das margens do rio, associada à expansão da mancha urbana e à ocupação progressiva de áreas anteriormente caracterizadas por vegetação nativa e solo permeável. Esse processo de urbanização intensificado ao longo das últimas décadas contribuiu para a substituição de áreas verdes por superfícies impermeabilizadas, como edificações, vias e infraestrutura urbana.

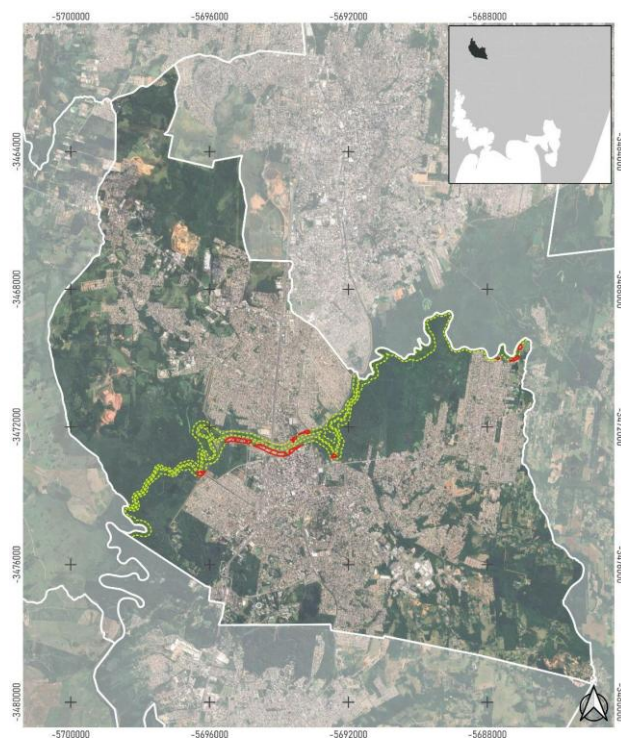
A comparação entre os períodos analisados evidencia que parte expressiva das áreas anteriormente ocupadas por vegetação foi convertida em uso urbano consolidado, alterando significativamente a dinâmica ambiental do território. Essa transformação impacta diretamente a capacidade de infiltração do solo e aumenta a vulnerabilidade do sistema urbano a eventos de inundação, especialmente em áreas situadas na planície fluvial do Rio dos Sinos.

4.2 Padrões de ocupação e avanço sobre áreas de preservação permanente

A análise espacial da expansão urbana também permitiu identificar padrões de ocupação ao longo das margens do Rio dos Sinos, especialmente no que se refere à ocupação de Áreas de Preservação Permanente (APP). Essas áreas, definidas pela legislação ambiental brasileira, possuem função fundamental na proteção dos cursos d'água, na preservação da biodiversidade e na redução dos impactos de eventos hidrológicos extremos.

No entanto, a análise cartográfica realizada (Figura 7) mostra diversos pontos onde a expansão urbana avançou sobre essas áreas protegidas, configurando situações em que a mancha urbana ultrapassa os limites da APP. Esse processo pode ser observado em diferentes trechos do rio dentro do território municipal, onde edificações, loteamentos e infraestruturas urbanas foram implantados em áreas originalmente destinadas à preservação ambiental.

Figura 7 – Mapa da Área de Preservação Permanente do Rio dos Sinos, em São Leopoldo (RS), com sobreposição de mancha não vegetada



Área de Preservação Permanente do Rio dos Sinos, em São Leopoldo (RS), com sobreposição de mancha não vegetada.

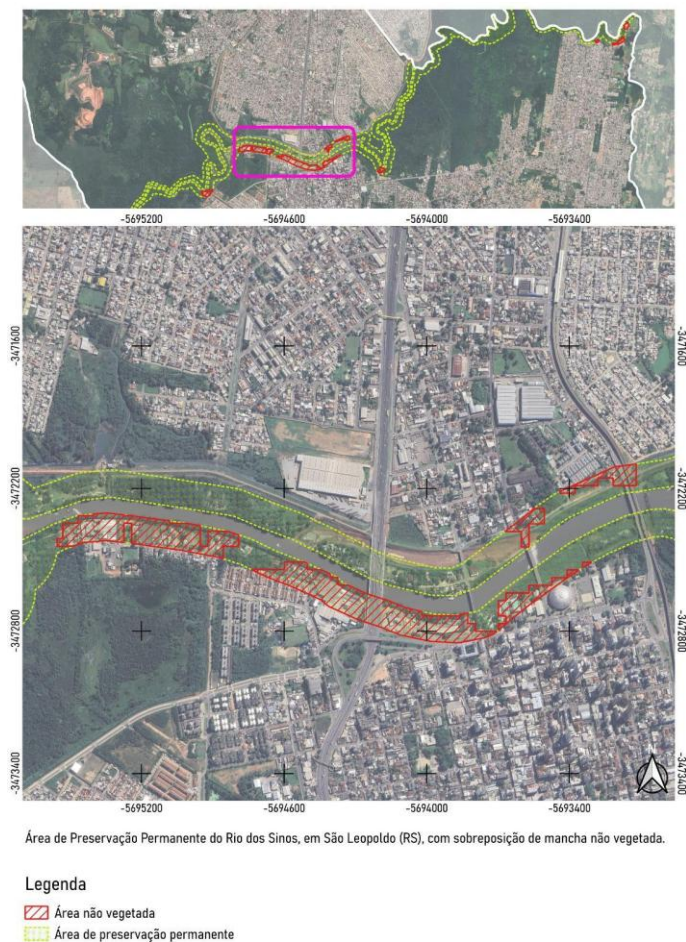
Legenda

- Área não vegetada
- Área de preservação permanente

A área não vegetada, dentro da APP, com 0,205 km², representa cerca de 7,66% da Área de Preservação Permanente do Rio dos Sinos, em São Leopoldo, que totaliza 2,6748 km².

Fonte: Elaborado pelos autores com interação no Google Earth.

Figura 8 – Mapa da Área de Preservação Permanente do Rio dos Sinos, em São Leopoldo (RS), com sobreposição de mancha não vegetada e ampliação na área central da cidade



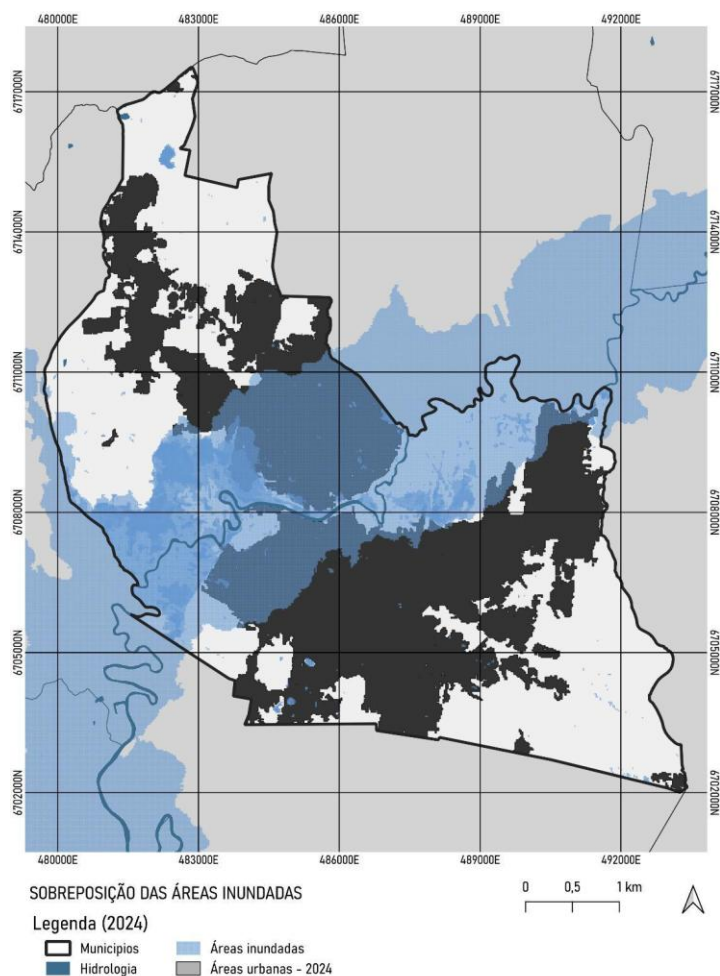
Fonte: Elaborado pelos autores com interação no Google Earth.

Os mapas produzidos a partir de imagens de satélite feitas pelo Google Earth e dados geoespaciais demonstram que essas ocupações ocorreram de forma gradual ao longo das últimas décadas, consolidando-se em áreas hoje densamente urbanizadas (Figura 8). Esse padrão de ocupação demonstra um conflito territorial entre a expansão urbana e a preservação ambiental, intensificando a vulnerabilidade dessas áreas a processos de inundação e degradação ambiental.

4.3 Geoprocessamento de impacto: sobreposição entre mancha de inundação histórica e malha urbana atual

A partir de técnicas de geoprocessamento, foi realizada a sobreposição entre a mancha de inundação histórica do Rio dos Sinos e a malha urbana atual de São Leopoldo (Figura 9), com o objetivo de identificar áreas urbanizadas localizadas em zonas suscetíveis a alagamentos recorrentes.

Figura 9 – Mapa de sobreposição das áreas inundadas da cidade de São Leopoldo (RS)



Fonte: Elaborado pelos autores com interação no Google Earth.

Essa análise espacial revelou um elevado grau de sobreposição entre áreas urbanizadas e regiões historicamente afetadas por eventos de inundação. Em diversos pontos da planície fluvial, a ocupação urbana consolidada coincide diretamente com áreas que apresentam recorrência de alagamentos, demonstrando a existência de um conflito espacial entre o processo de urbanização e a dinâmica natural do rio.

A identificação dessas áreas críticas contribui para a compreensão dos impactos territoriais associados aos eventos extremos recentes, reforçando a necessidade de estratégias de planejamento urbano que considerem as características ambientais e hidrológicas do território.

4.4 Equipamentos públicos afetados pelos eventos de inundação

A análise da sobreposição entre a mancha de inundação e a localização de equipamentos públicos permitiu identificar instituições que foram diretamente afetadas pelos eventos recentes de cheia do Rio dos Sinos. Entre os equipamentos mais impactados estão unidades escolares da rede municipal, que permaneceram ilhadas ou parcialmente submersas durante os episódios de inundação.

Foram identificadas as seguintes instituições de ensino localizadas em áreas afetadas: EMEF Barão do Rio Branco; EMEF Bento Gonçalves; EMEF Maria Emilia de Paula; EMEF Borges de Medeiros; EMEF Castro Alves; EMEF Henrique M. Coelho Neto; EMEF Emílio Meyer; EMEF Franz L. Weinmann; EMEF Irmão Weibert; EMEF Prof. José Grimberg; EMEF Gusmão Britto; EMEF Osvaldo Aranha; EMEF Otília Rieth; EMEF Paul Harris; EMEF Rui Barbosa; EMEF São João Batista; EMEF Salgado Filho; EMEF Zaira Hauschild; Escola de Artes Pequeno Príncipe; EMEF Olímpio Albrecht; EMEF Paulo Couto; EMEF Hohendorff; EMEF Germano Sperb; EMEF Mario Fonseca; EMEF Paulo Beck; EMEF João Goulart; EMEF Arthur Ostermann; EMEF Clodomir Vianna Moog; EMEF Alberto Pasqualini; EMEF Dilza Flores; EMEF Edgard Coelho; EMEF Maria Edila; EMEF Álvaro Nunes; EMEF Santa Marta; EMEF Tancredo Neves; EMEF Padre Orestes; EMEF Francisco Cândido Xavier.

A presença desses equipamentos em áreas suscetíveis a inundação evidencia a dimensão social dos impactos territoriais associados aos eventos extremos. Além dos danos à infraestrutura urbana, tais ocorrências comprometem o funcionamento de serviços essenciais, afetando diretamente a população local.

Os resultados indicam que o avanço urbano não ocorreu de forma aleatória, mas concentrou-se justamente nas áreas de maior suscetibilidade hidrológica, configurando um conflito territorial estrutural entre urbanização e funcionamento do sistema fluvial.

5. DIRETRIZES PARA O FUTURO: REGENERANDO A PAISAGEM

5.1 Propostas de IVAs: Onde é possível inserir parques lineares e bacias de retenção como estratégia de mitigação em áreas já urbanizadas?

A partir dos mapeamentos realizados ao longo desta pesquisa, identificam-se áreas prioritárias para a implantação de Infraestruturas Verdes e Azuis (IVAs), capazes de atuar como dispositivos de retenção, infiltração e desaceleração do escoamento superficial. Em contextos urbanos consolidados, especialmente em áreas próximas a cursos d'água, fundos de vale e zonas com maior recorrência de alagamentos, a criação de parques lineares configura-se como uma estratégia eficaz para recuperar funções ecológicas e hidrológicas da paisagem.

Os parques lineares desempenham papel relevante na recomposição das áreas de várzea e na ampliação da capacidade de armazenamento temporário das águas pluviais, contribuindo para a redução do risco de inundações. Além de sua função hidráulica, esses espaços promovem benefícios urbanos adicionais, como a criação de áreas públicas qualificadas, a formação de corredores ecológicos e a melhoria do microclima urbano (Benedict; McMahon, 2006; Ahern, 2011).

Nesse contexto, a infraestrutura verde pode ser compreendida como uma rede integrada de espaços naturais e seminaturais planejados estrategicamente, capaz de fornecer múltiplos serviços ecossistêmicos, incluindo a regulação do escoamento pluvial, a promoção da infiltração no solo e o aumento da resiliência urbana frente a eventos climáticos extremos (Benedict; McMahon, 2006).

Complementarmente, a implantação de bacias de retenção e retenção em pontos estratégicos do tecido urbano — como terrenos públicos subutilizados, áreas institucionais, praças existentes ou lotes vagos — constitui uma medida eficiente de gestão das águas pluviais.

Essas estruturas funcionam como reservatórios temporários que armazenam o excesso de água durante eventos de precipitação intensa e liberam o fluxo de forma gradual para o sistema de drenagem urbana, reduzindo os picos de vazão e a sobrecarga da infraestrutura existente (Tucci, 2005; Fletcher et al., 2015).

A integração dessas soluções baseadas na natureza ao planejamento urbano contribui para o desenvolvimento de cidades mais adaptadas às mudanças climáticas e mais resilientes a eventos hidrológicos extremos, especialmente em regiões urbanizadas inseridas em planícies fluviais, como ocorre ao longo da bacia do Rio dos Sinos.

5.2 Recomendação Normativa: Sugestões para o Plano Diretor de São Leopoldo com base nos mapeamentos realizados

Com base nos resultados obtidos nos mapeamentos, evidencia-se a necessidade de incorporar ao planejamento territorial diretrizes normativas capazes de mitigar os riscos associados às inundações recorrentes na bacia do Rio dos Sinos, particularmente no município de São Leopoldo.

Entre as medidas propostas, destaca-se a delimitação de zonas de restrição ou controle da ocupação urbana em áreas suscetíveis a inundações, especialmente nas porções próximas ao rio e aos seus principais afluentes. A literatura sobre gestão de riscos ambientais aponta que a ocupação intensiva de planícies de inundação tende a ampliar significativamente a vulnerabilidade urbana, uma vez que expõe populações e infraestruturas a eventos hidrológicos recorrentes (Tucci, 2005; Marandola Jr; Hogan, 2004).

Nesse sentido, recomenda-se a criação ou revisão de zonas de proteção hídrica e controle da ocupação, estabelecendo parâmetros urbanísticos diferenciados para áreas de risco. Tais diretrizes podem incluir: restrição ou condicionamento de novos parcelamentos do solo em áreas inundáveis; limitação da densidade construtiva em setores suscetíveis a alagamentos; exigência de cotas mínimas de implantação das edificações; incentivo à adoção de soluções arquitetônicas adaptativas ao regime hídrico local.

Essas medidas podem contribuir para reduzir a exposição da população e da infraestrutura urbana a eventos extremos, além de favorecer a preservação das funções ecológicas das planícies fluviais. A incorporação dessas diretrizes ao Plano Diretor municipal representa um passo fundamental para promover um modelo de desenvolvimento urbano mais resiliente, integrado à dinâmica ambiental da bacia hidrográfica.

6. CONCLUSÃO

A análise desenvolvida neste estudo evidenciou a existência de um conflito territorial estrutural entre o processo de urbanização de São Leopoldo e a dinâmica natural do sistema fluvial do Rio dos Sinos. A expansão urbana observada nas últimas décadas ocorreu, em grande medida, sobre áreas ambientalmente sensíveis, especialmente nas planícies de inundação associadas ao curso do rio e aos seus afluentes. Essa ocupação progressiva de áreas naturalmente suscetíveis a cheias contribuiu para a ampliação da vulnerabilidade urbana frente a eventos hidrológicos extremos.

Os mapeamentos realizados por meio de cartografia digital e geoprocessamento demonstraram que a redução de áreas vegetadas e a crescente impermeabilização do solo alteraram significativamente o funcionamento hidrológico do território. A sobreposição entre manchas históricas de inundação e a malha urbana atual revelou a presença de extensas áreas urbanizadas situadas em zonas naturalmente sujeitas a alagamentos, evidenciando que parte significativa da vulnerabilidade atual está associada a escolhas históricas de ocupação do solo.

Além dos impactos físicos sobre a infraestrutura urbana, os resultados também indicam implicações sociais relevantes, especialmente quando equipamentos públicos essenciais, como escolas, encontram-se localizados em áreas suscetíveis à inundação. Tal cenário reforça a necessidade de integrar análises territoriais, hidrológicas e sociais no planejamento urbano, reconhecendo que a gestão do risco climático envolve não apenas aspectos ambientais, mas também a proteção de serviços urbanos fundamentais.

Diante desse contexto, o estudo aponta que estratégias baseadas em **Infraestruturas Verdes e Azuis e Soluções Baseadas na Natureza** apresentam potencial significativo para contribuir com processos de adaptação climática em cidades inseridas em bacias hidrográficas urbanizadas. A implantação de parques lineares, bacias de retenção e zonas de controle da ocupação em áreas suscetíveis a inundação pode restaurar funções ecológicas da paisagem, ampliar a capacidade de retenção hídrica do território e reduzir os impactos de eventos extremos.

Entretanto, a implementação dessas estratégias exige a integração entre planejamento urbano, gestão ambiental e políticas públicas de adaptação climática. Instrumentos urbanísticos e diretrizes normativas incorporadas aos planos diretores municipais podem desempenhar papel fundamental na regulação da ocupação de áreas sensíveis e na promoção de soluções mais compatíveis com a dinâmica natural das bacias hidrográficas.

Por fim, este trabalho reforça que a crise hidrológica observada em cidades como São Leopoldo não deve ser compreendida apenas como resultado de eventos climáticos extremos, mas também como consequência de processos históricos de urbanização que desconsideram as características ambientais do território. Nesse sentido, a construção de cidades mais resilientes depende da capacidade de reconectar o planejamento urbano aos sistemas naturais, reconhecendo água e território como elementos interdependentes na organização das paisagens urbanas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHERN, Jack. From fail-safe to safe-to-fail: sustainability and resilience in the new urban world. **Landscape and Urban Planning**, v. 100, n. 4, p. 341–343, 2011.

BAZZAN, Thiago. **Mapeamento das áreas com risco de inundação do Rio dos Sinos no município de São Leopoldo, RS**. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Acesso em: 7 mar. 2026.

BENEDICT, Mark A.; McMAHON, Edward T. **Green infrastructure: linking landscapes and communities**. Washington, DC: Island Press, 2006.

BRACKEN, Louise J.; CROKE, Jack. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. **Hydrological Processes**, v. 21, p. 1749–1763, 2007.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências (Estatuto da Cidade)**. Brasília, DF: Senado Federal,

2001. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2026.

_____. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC.** Brasília, DF: Presidência da República, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 7 mar. 2026.

_____. Lei nº 14.904, de 27 de junho de 2024. **Estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima; altera a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009; e dá outras providências.** Brasília, DF: Presidência da República, 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14904.htm. Acesso em: 7 mar. 2026.

BROWDER, Greg et al. **Integrating green and gray.** World Bank, 2019.

BROWN, Anna; DAYAL, Ashvin; RAMASWAMI, Anu. **From practice to theory: emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience.** *Environment and Urbanization*, v. 24, n. 2, p. 531–556, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0956247812456490>. Acesso em: 7 mar. 2026.

CABRAL-RAMÍREZ, Mayleen; NIÑO-BARRERO, Yezid; DIBELLA, José. Lessons from the Implementation of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction from Latin America and the Caribbean. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 16, p. 72-83, 2025.

CAMPANELLA, T. J. Urban resilience and the recovery of New Orleans. **Journal of the American Planning Association**, v. 72, n. 2, p. 141–146, 2006.

CASTAÑEDA RODRIGUEZ, Lorena del Rocio et al. Urban Resilience and Fluvial Adaptation: Comparative Tactics of Green and Grey Infrastructure. **Urban Science**, v. 10, n. 1, p. 62, 2026.

COMITESINOS. **Plano da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.** São Leopoldo: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, 2013.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

COHEN-SHACHAM, Emmanuelle et al. Nature-based solutions to address global societal challenges. **IUCN: Gland, Switzerland**, v. 97, n. 2016, p. 2036, 2016.

FLETCHER, Tim D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

GOOGLE INC. **Google Earth.** online, 2003, 2025. Público. Disponível em: <<https://earth.google.com/web>>. Acesso em: 7 mar. 2026.

KABISCH, Nadja et al. (ed.). Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: linkages between science, policy and practice. **Cham: Springer, 2017. (Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions).** DOI: 10.1007/978-3-319-56091-5. Acesso em: 10 ago. 2025.

MACHADO, Luciene et al. O desafio para cidades resilientes no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 59, p. 119-165, mar. 2025.

MARANDOLA JR., Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos naturais. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, 2004.

MEEROW, Sara et al. Defining urban resilience: a review. **Landscape and Urban Planning**, v. 147, p. 38–49, 2016.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 10 - 1985 a 2024 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, acessado em 10 ago. 2025 através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>.

SHRESTHA, Shobha et al. Urban Growth and River Course Dynamics: Disconnected Floodplain and Urban Flood Risk in Manohara Watershed, Nepal. **Water**, v. 17, n. 16, p. 2391, 2025.

STRAHLER, Arthur N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

TUCCI, Carlos E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

UNISDR. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. **Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015**. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 30 ago. 2025.

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goal 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable**. 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals/goal11>. Acesso em: 20 set. 2025.

_____. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Resolution A/RES/70/1. New York: United Nations, 2015.

VALE, L. J. The politics of resilient cities: whose resilience and whose city? **Building Research & Information**, v. 42, n. 2, p. 191–201, 2014.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme); UN-WATER. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Paris: UNESCO, 2018. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>. Acesso em: 7 mar. 2026.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Extreme heat, cold, precipitation and fires mark the start of 2026**. 10 fev. 2026. Disponível em: <https://wmo.int/media/news/extreme-heat-cold-precipitation-and-fires-mark-start-of-2026>. Acesso em: 5 mar. 2026.