FACULDADES INTEGRADAS DE TAQUARA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
NÍVEL MESTRADO

GERSON LAMBERTI

PROPOSTA DE MÉTODO DE TRANSFORMAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO EM RESILIENTE - O USO DA QUOTA AMBIENTAL NO VALE DO RIO PARANHANA

TAQUARA
2026

GERSON LAMBERTI

PROPOSTA DE MÉTODO DE TRANSFORMAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO EM RESILIENTE
O USO DA QUOTA AMBIENTAL NO VALE DO RIO PARANHANA

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional, pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional das Faculdades Integradas de Taquara (FACCAT)

Orientador: Prof . Dr. Carlos Fernando Jung

TAQUARA
2026

GERSON LAMBERTI

PROPOSTA DE MÉTODO DE TRANSFORMAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO EM AMBIENTE RESILIENTE
O USO DA QUOTA AMBIENTAL NO VALE DO RIO PARANHANA

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional, pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional das Faculdades Integradas de Taquara (FACCAT).

Aprovado em 29 de maio de 2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jorge Luiz Amaral de Moraes - FACCAT

Prof. Dr. Marcos Paulo Dhein Griebeler - FACCAT

Profª. Drª. Natália A. Soares - FEEVALE

Drª. Ximena Cardozo Ferreira – Ministério Público

Dedico este trabalho a todas as pessoas que, por meio das ideias, debates e trocas de conhecimento ao longo desta trajetória, contribuíram para a construção desta pesquisa. Em especial, ao meu orientador, pelo incentivo, confiança e apoio constante, fundamentais para manter a motivação e possibilitar a conclusão deste estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, pela paciência, pelo apoio constante e até mesmo pelas reclamações diante das ausências causadas pelos estudos, lembrando-me, em todos os momentos, da importância da união e da parceria ao longo desta caminhada.

À minha mãe e ao meu pai (in memoriam), pelo exemplo de vida, pelos ensinamentos e por demonstrarem, desde sempre, que o conhecimento e o estudo são caminhos que sempre valem a pena.

Aos meus filhos, por me proporcionarem a oportunidade — e também a responsabilidade — de contribuir, por meio deste trabalho, para a construção de um mundo melhor para as próximas gerações.

Aos alunos do curso de Engenharia de Produção, especialmente da disciplina de Engenharia Aplicada, pelas contribuições nos estudos relacionados à Defesa Civil dos municípios do Vale do Paranhana, que auxiliaram na compreensão da realidade regional abordada nesta pesquisa.

Aos colegas e parceiros da vida profissional, pelas discussões, reflexões e trocas de experiências sobre o tema desta dissertação, que ganhou dimensões ainda mais relevantes após o evento climático extremo de 2024 que assolou o Estado do Rio Grande do Sul.

Ao meu orientador, por incentivar o livre pensar, acreditar na proposta desta pesquisa desde antes da orientação formal e dedicar-se ao desenvolvimento deste trabalho, sempre valorizando o papel da engenharia como instrumento de transformação e desenvolvimento regional.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a construção deste trabalho e para a concretização desta etapa acadêmica.

“Ademais necessário pensar e gerir o espaço – natural e artificial – de forma integrada: abandonar a segmentação comum às fronteiras político-administrativas e adotar uma visão holística que contemple não somente os fatores que influem na incidência de inundações, senão também a bacia hidrográfica como unidade de análise e de gestão, como a lei federal determina.”

(Ximena Cardozo Ferreira)

RESUMO

A dissertação investiga a relação entre planejamento urbano, instrumentos normativos e estratégias ambientais aplicadas ao ambiente construído, com foco no aumento da resiliência nos municípios do Vale do Rio Paranhana. O ponto de partida é o entendimento que o modelo atual de uso e ocupação de solo, baseado em índices urbanísticos tradicionais, mostra-se ineficiente para responder aos desafios impostos por eventos climáticos extremos, cada vez mais frequentes e de maior intensidade, principalmente os relacionados a drenagem urbana e às inundações recorrentes, sendo este o tema pesquisa. O objetivo do estudo é propor um método de avaliação e planejamento urbano que incorpore critérios ambientais ao processo de análise de empreendimentos imobiliários, utilizando soluções de drenagem sustentável (SUDS) como elemento estruturante e integrando instrumentos urbanísticos como a Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC) e a incorporação da Quota Ambiental (QA). Especificamente, busca-se compreender como os parâmetros urbanísticos influenciam a morfologia urbana e a vulnerabilidade ambiental, analisar a adequação das legislações municipais frente à realidade hidrológica da bacia do Rio Paranhana e desenvolver uma ferramenta prática de apoio à tomada de decisão no âmbito público. A metodologia adotada caracteriza-se como aplicada e exploratória, estruturada em três seções: (i) revisão bibliográfica e análise conceitual sobre ambiente construído, resiliência urbana, drenagem sustentável e metodologia BIM no ambiente GIS; (ii) análise territorial e documental dos municípios banhados pelo Rio Paranhana, incluindo avaliação dos planos diretores, estudo da expansão urbana e modelagem da bacia hidrográfica, destacando o evento climático extremo ocorrido em maio de 2024 e; (iii) proposição de um método de avaliação de empreendimentos incorporando critérios ambientais e parâmetros urbanísticos integrados. Os resultados evidenciam um descompasso entre a legislação urbanística vigente e a dinâmica ambiental da região, com ocupação de áreas suscetíveis a inundações e ausência de exigências efetivas para o manejo das águas pluviais na fonte. Observa-se que os instrumentos normativos, aplicados de forma isolada por município, não consideram a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, patrocinando e contribuindo para o aumento da vulnerabilidade urbana. Em resposta a esse cenário, a pesquisa propõe a utilização da Quota Ambiental como condicionante para o acesso ao potencial construtivo adicional, associada à adoção de SUDS nos projetos edilícios,

promovendo a retenção, infiltração e retardo do escoamento superficial. Como contribuição prática, é apresentada uma ferramenta de análise, denominada de calculadora de Quota Ambiental Simplificada, estruturada em três blocos: (i) qualificação do empreendimento, (ii) avaliação de categorias de soluções sustentáveis e (iii) apresentação de resultados. Essa ferramenta atua como elemento intermediário entre projetistas e analistas públicos, promovendo maior transparência, padronização e segurança jurídica no processo de aprovação de projetos. Conclui-se que o aumento da resiliência do ambiente construído depende da integração entre planejamento urbano, instrumentos econômicos e soluções ambientais, além da adoção de tecnologias digitais que permitam a análise sistêmica do território. A proposta apresentada contribui para a reformulação das políticas públicas urbanas, incentivando um modelo de desenvolvimento baseado no desempenho ambiental e na gestão integrada da bacia hidrográfica, com potencial de aplicação em contextos similares.

Palavras-chave: Resiliência urbana, Planejamento urbano, Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável, Quota ambiental, Integração BIM-GIS.

ABSTRACT

The dissertation investigates the relationship between urban planning, regulatory instruments, and environmental strategies applied to the built environment, focusing on increasing resilience in the municipalities of the Paranhana River Valley. The starting point is the understanding that the current land use and occupation model, based on traditional urban indices, is inefficient in responding to the challenges imposed by extreme climate events—which are becoming increasingly frequent and intense—especially those related to urban drainage and recurrent flooding.

The objective of the study is to propose an urban assessment and planning method that incorporates environmental criteria into the analysis of real estate developments, using Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) as a structuring element and integrating urban planning instruments such as the Onerous Grant of the Right to Build (OODC) and the Environmental Quota (EQ). Specifically, it seeks to understand how urban parameters influence urban morphology and environmental vulnerability, analyze the adequacy of municipal legislation vis-à-vis the hydrological reality of the Paranhana River Basin, and develop a practical decision-support tool for public administration.

The adopted methodology is characterized as applied and exploratory, structured into three sections: (i) bibliographic review and conceptual analysis regarding the built environment, urban resilience, sustainable drainage, and BIM methodology within the GIS environment; (ii) territorial and documentary analysis of the municipalities located along the Paranhana River, including the evaluation of master plans, the study of urban expansion, and watershed modeling, highlighting the extreme climate event that occurred in May 2024; and (iii) the proposal of a method for evaluating developments incorporating environmental criteria and integrated urban parameters.

The results reveal a mismatch between current urban legislation and the region's environmental dynamics, with occupation in flood-prone areas and a lack of effective requirements for source-control stormwater management. It is observed that regulatory instruments, when applied individually by each municipality, fail to consider the watershed as a planning unit, thereby fostering and contributing to increased urban vulnerability.

The research proposes the use of the Environmental Quota as a condition for accessing additional building potential, coupled with the adoption of SUDS in building developments, promoting retention, infiltration, and runoff attenuation. As a practical contribution, the study presents an analysis tool called the Simplified Environmental Quota Calculator, structured into three blocks: (i) project qualification, (ii) evaluation of categories of sustainable solutions, and (iii) presentation of results. This tool acts as an intermediary element between designers and public analysts, promoting greater transparency, standardization, and legal certainty in the project approval process.

It is concluded that increasing the resilience of the built environment depends on the integration of urban planning, economic instruments, and environmental solutions, as well as the adoption of digital technologies that enable systemic territorial analysis. The proposed approach contributes to the reformulation of urban public policies, encouraging a development model based on environmental performance and integrated watershed management, with potential application in similar contexts.

Key-words: Urban resilience, Urban planning, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Environmental quota, BIM-GIS integration

GLOSSÁRIO

Ambiente construído: conjunto de espaços e estruturas físicas criadas ou modificadas pelo ser humano – edificações, ruas, redes de infraestrutura, espaços públicos e terrenos – e suas relações com o território e a sociedade.

Ambiente resiliente: condição do ambiente construído que permite prevenir, absorver, adaptar-se e recuperar-se de choques e tensões (ex.: eventos climáticos extremos), mantendo ou restabelecendo funções essenciais com rapidez e eficiência.

BIM (Building Information Modeling): metodologia de modelagem e gestão digital de informações de edificações/infraestrutura ao longo do ciclo de vida, integrando dados técnicos do projeto para compatibilização, análise e tomada de decisão.

GIS (Geographic Information System): sistema de informação geográfica para armazenar, cruzar, analisar e representar dados espaciais (mapas e camadas), apoiando diagnósticos territoriais e planejamento urbano-ambiental.

IA (Indice de Aproveitamento): parâmetro urbanístico que define quanto pode ser construído no lote em relação à sua área, controlando a intensidade do uso do solo (potencial construtivo e adensamento).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Órgão científico criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), responsável por avaliar e sintetizar o conhecimento científico, técnico e socioeconômico sobre mudanças climáticas, seus impactos e opções de adaptação e mitigação.

MDE (Modelagem Digital de Elevação): representação numérica do relevo em formato digital, usada para análises como declividade, escoamento superficial, bacias hidrográficas e apoio à modelagem de áreas sujeitas a inundação.

OODC (Outorga Onerosa do Direito de Construir): instrumento urbanístico que permite construir além do potencial básico definido pelo plano diretor, mediante contrapartida (pagamento/compensação), para regular densidade e financiar melhorias urbanas.

QA (Quota Ambiental): mecanismo de avaliação/exigência de desempenho ambiental de empreendimentos, incentivando soluções como permeabilidade, retenção, infiltração e vegetação, podendo condicionar benefícios urbanísticos (ex.: OODC)

SUDS (Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável): conjunto de soluções para manejar águas pluviais na fonte, promovendo retenção, infiltração e retardo do escoamento, reduzindo picos de cheia e impactos de alagamento/inundações.

TO (Taxa do Ocupaçao): parâmetro urbanístico que limita a porcentagem do lote ocupada pela projeção da edificação no nível do solo, influenciando a forma urbana e a área livre/permeável disponível.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das cidades banhadas pelo Rio Paranhana 20
Figura 2: Rio Paranhana e suas cidades 22
Figura 3: Dez princípios para se construir cidades resilientes.....25
Figura 4: Interfaces da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei Federal 12.608/2012), Política Urbana e Parcelamento do Solo.....33
Figura 5: Objetivos do SUDS 53
Figura 6: Relação entre interceptação-intensidade-precipitação.....56
Figura 7: Esquema da bacia de detenção com fins esportivos 57
Figura 8: Jardim de chuva na via pública 59
Figura 9: Jardim de chuva no passeio público 60
Figura 10: SUDS com técnicas de infiltração 61
Figura 11: Vista interna de uma bacia de retenção enterrada.....63
Figura 12: Fluxograma da fase 1 – Fundamentação teórica 76
Figura 13: Fluxograma da fase 2 - Análise do ambiente construído 78
Figura 14: Fluxograma da fase 3 - Proposta de método 79
Figura 15: Mapa de inundação no município de Taquara – Bairro Empresa e Centro 105
Figura 16: Mapa de Inundação no município de Taquara - Bairro Santa Maria 106
Figura 17: Mancha de inundação no município de Parobé - Bairro XV de Junho ...107
Figura 18: Mancha de Inundação no município de Parobé - Bairro Paraíso 108
Figura 19: Mancha de inundação no município de Igrejinha - Bairro XV de Novembro 109
Figura 20: Mancha de Inundação no município de Igrejinha - Bairro Centro 110
Figura 21: Mancha de inundação no município de Três Coroas 111
Figura 22: Divisa municipal Parobé-Igrejinha-Taquara 115
Figura 23: Divisa entre municípios Três Coroas e Igrejinha 116

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparativo direto do instrumento OODC no Brasil e similares no exterior 44
Quadro 2: Instrumentos de análise de projetos urbanísticos 48
Quadro 3: Tipo de SUDS e sua função 55
Quadro 4: Comparativo dos SUDS 64
Quadro 5: Comparativo CTM x Portal de Geociências.....70
Quadro 6: Incremento populacional nas cidades banhadas pelo Rio Paranhana 80
Quadro 7: Número de domicílios (ocupados ou nâo) 81
Quadro 8: Uso do solo ao longo do tempo - 1980-2020.....83
Quadro 9: Regime Urbanístico do município de Igrejinha 85
Quadro 10: Regime Urbanístico do município de Parobé 88
Quadro 11: Regime Urbanístico do município de Taquara 91
Quadro 12: Regime Urbanístico do município de Três Coroas 95
Quadro 13: Resumo dos retornos para a sustentabilidade urbana 103
Quadro 14: Legenda de cores no HANDMODEL 104
Quadro 15: Possíveis resultados da combinação TO e IA 127
Quadro 16: Comparativo de instrumentos urbanísticos e ambientais - São Paulo x Municípios banhados pelo Rio Paranhana 133
Quadro 17: Modelo de Quota Ambiental Simplificada 136
Quadro 18: Integração IA com OODC.....139
Quadro 19: Faixas de QA e desconto associado 140
Quadro 20: Qualificação do empreendimento 143
Quadro 21: Dados de projeto 143
Quadro 22: Critérios de infiltração 145
Quadro 23: Critério de retenção ou detenção 145
Quadro 24: Critério de retardo.....145
Quadro 25: Critério de telhados verdes e soluções verticais 146
Quadro 26: Critério de cobertura vegetal e SBN 146
Quadro 27: Apresentação de resultados 147

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	Building Information Modeling
BMP	Best Management Practices
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CF	Constituição Federal
CIM	City Information Modeling
ERS	Estrada Rodovia do Sul
GIS	Geographic Information System
IA	Índice de Aproveitamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernamental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
ISO	International Organization for Standardization
LID	Low Impact Development techniques
LM	Lei Municipal
MDE	Modelagem Digital de Elevação
MEI	Microempreendedor Individual
MUPRS	Mapa Único Plano Rio Grande
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ONU	Organização das Nações Unidas
OOAU	Outorga Onerosa de Alteração de Uso do Solo
OODC	Outorga Onerosa do Direito de Construir
OUC	Operação Urbana Consorciada
PD	Plano Diretor
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
QA	Quota Ambiental
RRD	Redução de Riscos de Desastres
SBS	Soluções Baseadas na Natureza
SUDS	Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável
TDR	Transferable Develomment Rights

TO	Taxa de Ocupação
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction
WSUD	Water Sensitive Urban Design

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18
2 REFERENCIAL TEÓRICO 28
2.1 AMBIENTE CONSTRUÍDO 28
2.2 AMBIENTE RESILIENTE 30
2.3 PLANO DIRETOR 34
2.3.1 Taxa de ocupação 35
2.3.2 Índice de aproveitamento 37
2.3.3 Outorga Onerosa do Direito de Construir - OODC 39
2.3.4 Quota Ambiental – QA 47
2.4 SISTEMA URBANO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL 50
2.5 INTEGRAÇÃO BIM-GIS NA GESTÃO MUNICIPAL 66
3 METODOLOGIA 74
3.1 CENÁRIO 74
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 75
4 ANÁLISE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO 80
4.1 CRESCIMENTO URBANO DO VALE DO RIO PARANHANA 80
4.2 ANÁLISE DOS ÍNDICES MUNICIPAIS DO PLANO DIRETOR E MUPRS 84
4.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO 97
4.3.1 MDE da Bacia do Rio Paranhana e modelagem HANDMODEL 98
4.3.2 Considerações sobre a modelagem da mancha de inundação nos municípios banhados pelo Rio Paranhana 103
4.4 ZONEAMENTO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO REGIONAL NOS MUNICÍPIOS BANHADOS PELO RIO PARANHANA 114
4.5 REGULAMENTAÇÃO DO SUDS 117
4.6 PRECIFICAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO DE SUDS 120
5 USO DOS ÍNDICES CONSTRUTIVOS COMO ESTRATÉGIA DE INCREMENTO DA RESILIÊNCIA 124
5.1 ANÁLISE CONJUNTA TO x IA 126
5.2 PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA TO E IA – APLICAÇÃO DA QUOTA AMBIENTAL E OUTORGA ONEROSA DO DIREITO DE CONSTRUIR 128
5.3 SISTEMA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADO PARA INDUÇÃO DA RESILIÊNCIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 142

6 CONCLUSÃO 147
REFERÊNCIAS 152

1 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas referem-se a transformações nos padrões médios do clima, considerando séries históricas de longo prazo de variáveis como temperatura, precipitação, ventos, umidade e pressão atmosférica. Diferentemente das condições atmosféricas — que representam o estado momentâneo da atmosfera em curto prazo — o clima expressa o comportamento típico dessas variáveis em uma região ao longo de décadas. Trata-se de um sistema dinâmico, influenciado por fatores internos e externos, podendo resultar tanto de processos naturais quanto de ações antrópicas. Embora haja consenso de que o clima da Terra sempre passou por variações, ainda existem debates no meio científico sobre o grau de contribuição relativa dos diferentes fatores responsáveis pelas alterações globais observadas. (Teodoro; Amorim, 2008).

Compreender as mudanças naturais é importante para entender e avaliar o impacto das atividades humanas sobre o clima. Vários fatores naturais influenciam no clima da Terra: (i) variação da radiação solar; (ii) atividades vulcânicas; (iii) movimentos tectônicos; (iv) variações orbitais da terra e; (v) processos internos do sistema climático (Teodoro; Amorim, 2008).

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC reconheceu que no século passado, a temperatura do planeta subiu entre 0,74ºC e 1,8ºC, atribuindo isso as ações antrópicas sobre o clima, fato evidenciado no relatório de 2007. Esse aumento de temperatura, consequência do efeito estufa, resultou em uma ruptura dos sistemas naturais: (i) mudança nos regimes de chuvas e nos níveis de precipitação, afetando a produção de alimentos e oferta de água; (ii) aumento da incidência e da intensidade de eventos climáticos extremos, como as ondas de calor e estresse térmico, tempestades, enchentes, secas, incêndios de grandes regiões e aumento do nível do mar; (iii) alterações de ecossistemas, propiciando o aumento de vetores transmissores de doenças e sua distribuição em regiões mais distantes (Cortese, 2013).

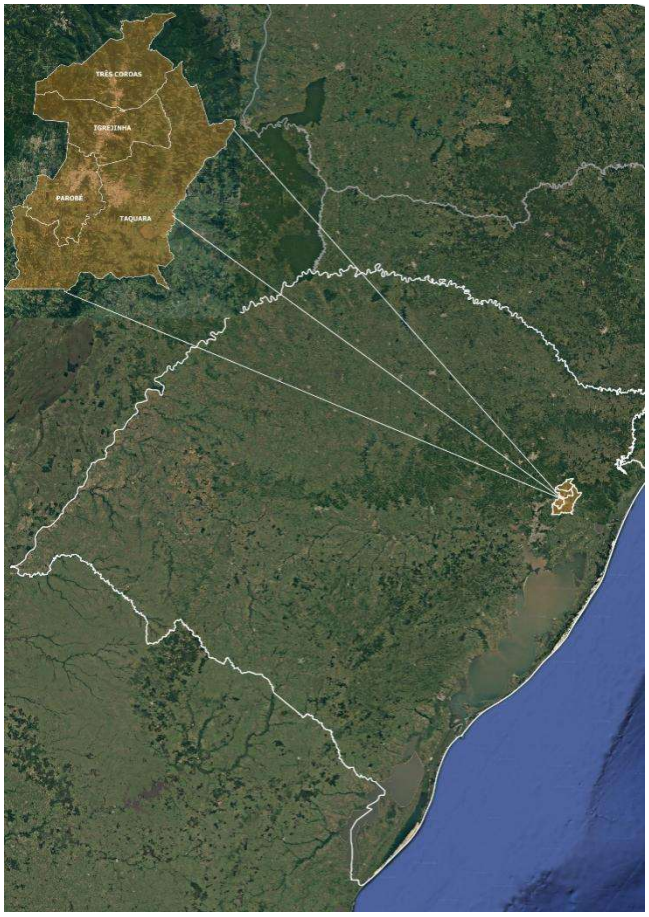
Cidades consolidadas estão se sentindo vulneráveis a eventos climáticos extremos como inundações urbanas, ondas de calor, enchentes e secas. Os desafios das administrações perante as mudanças climáticas é adaptar a infraestrutura para a intensificação da frequência e a amplitude dos eventos, trazendo prejuízos às áreas urbanas e a infraestrutura da zona rural. A densificação na ocupação do solo e a infraestrutura antiga expõe as cidades a impactos de crescente magnitude, o que

exige uma nova visão sobre a administração do patrimônio público e o ordenamento no crescimento das cidades (Huergo, 2015)

A partir da Constituição Federal de 1988, fez-se obrigatória a elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano dos municípios com população maior que vinte mil habitantes ou inserido na região metropolitana da capital do Estado. Visto pela maioria dos gestores apenas sob a ótica de uso e ocupação de solo urbano e isolada entre os municípios, o desleixo na sua aplicação resultou em problemas estruturantes de infraestrutura que se potencializaram e resultaram em passivos ambientais a serem corrigidos mas, sem a existência de um método de análise das problemas existentes, dificuldades são impostas na criação de soluções alternativas e inteligentes em busca de um ambiente resiliente e sustentável (Silva; Lima; Ribeiro, 2021).

A área em estudo, apresentada na figura 1, abrange quatro cidades que são banhadas nas suas zonas urbanas pelo Rio Paranhana – Taquara, Parobé, Igrejinha e Três Coroas que, nas décadas de 1980 a 2000 cresceram de forma rápida e desordenada com loteamentos sem a devida infraestrutura e com um planejamento urbanístico despreparado para a demanda apresentada para aquele momento: receber os migrantes que para cá se dirigiam em busca de uma oportunidade (Matte Junior; Spricigo; Ruffoni, 2023).

Figura 1: Localização das cidades banhadas pelo Rio Paranhana



Fonte: IBGE (2025)

Segundo o IBGE, Parobé emancipou-se em 1982 sendo o último município a se desligar do município mãe Taquara, tendo como parte da divisa territorial o Rio Paranhana. No período de crescimento urbano pós-emancipação, viu surgirem loteamentos, regulares ou não, ao longo da Avenida das Nações que une os dois municípios, até a divisa municipal que é o Rio Paranhana, ocupados rapidamente a partir da oferta de terrenos com valores acessíveis e longo prazo de pagamento, condições ideais para quem chegava no município na procura de um emprego nas fábricas de calçado (Bugs; Bosa, 2023).

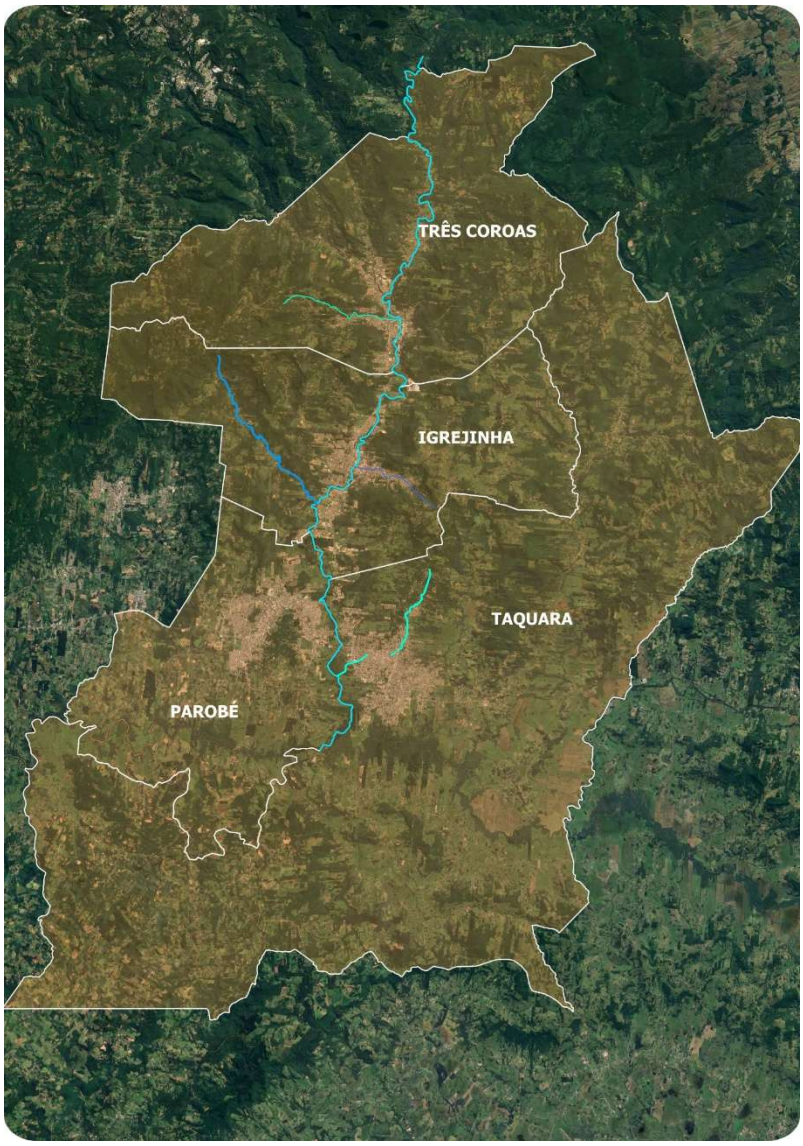
Em Taquara, o bairro Santa Maria, localizado ao longo do Rio Paranhana, apesar de ter ocupação que remonta o início do século XX, desenvolveu de forma mais lenta que o lado do município vizinho Parobé, mas de igual forma, problemática por falta de infraestrutura urbana. A ocupação irregular do leito da viação férrea é um problema que persiste e novos loteamentos foram surgindo entre a ERS-115 e Rua

João Correa, que acompanha a margem do rio e onde, ao oeste da Rua João Correa a ocupação se dá com atividades que convivem naturalmente com as constantes cheias. Ao longo da ERS-115, no início da década de 1990 ocorreu o lançamento dos Loteamentos Tito e Eldorado que hoje formam o bairro Eldorado. Regularizados oficialmente apenas na década de 2010 com infraestrutura incompleta e deficitária, o acesso único por rua perpendicular a RS-115 permite o frequente isolamento por elevação das águas do Arroio Muller, afluente do Rio Paranhana e que margeia o bairro (Plano Diretor de Taquara - RS, 2022).

Igrejinha e Três Coroas tem uma ligação com o Rio Paranhana de forma longilínea, tendo o centro das cidades cortados pelo curso d'água, dividindo cada cidade em duas parcelas, unidas por pontes. O desenvolvimento das duas cidades se deu ao longo do rio, desde o bairro Sander em Três Coroas até a divisa de Igrejinha com Parobé sendo, atualmente, uma única mancha de ocupação urbana ao longo do rio e com tendência de aumentar a ocupação pelo deslocamento do prédio da Prefeitura Municipal de Igrejinha que, em um processo de melhoria das instalações e atendimento ao público, construiu uma nova sede para a prefeitura municipal em outro endereço, saindo da área inundável do centro da cidade e se instalando em região periférica ainda em fase de urbanização do entorno. Igrejinha também teve uma ocupação urbana em direção leste, sentido RS-20, em região de aclive acentuado considerado como área de deslizamento de massas (Valente; Oliveira; Guasselli, 2012).

A figura 2 apresenta o leito do Rio Paranhana com a mancha urbana ocupando o leito maior do Rio Paranhana e dos seus arroios afluentes que cortam os centros urbanos O resultado dessa ocupação são inundações e alagamentos acontecendo dentro de uma periodicidade menor e resultando em danos maiores, grande parte resultado da ocupação das áreas a montante que aumentam a vazão a escoar numa infraestrutura que teve seu início de forma precária e sem adequado planejamento e fiscalização (Brubacher, 2014)

Figura 2: Rio Paranhana e suas cidades



Fonte: IBGE (2025)

O Rio Paranhana nasce no município de Canela em cota aproximada de 900,00m e com alta declividade no seu trecho inicial até chegar no município de Tres Coroas, ficou conhecido pelas corredeiras que fez surgir e crescer neste município o turismo ambiental, a partir da prática de canoagem de corredeiras, surgindo a denominação de Três Coroas-Cidade Verde. Quando o rio passa pela localidade de Linha Café a velocidade de escoamento tende a diminuir pela menor declividade do rio até que cruza a ERS-115 no bairro Sander, quando muda a característica de

escoamento das águas e que vai perdurar até a sua foz no encontro com o Rio dos Sinos, com baixa velocidade e aumento do leito maior de inundação (Chaves, 2017) .

Na localidade de Sander, onde começa a intensificar a urbanização da bacia hidrográfica do Rio Paranhana é também onde começam os problemas da ocupação desordenada. desorganizada e sem a devida infraestrutura adequada de saneamento, com os efluentes domésticos tratados em fossa séptica seguido de filtro anaeróbio (ou não em situações de construções antigas) e com disposição final em sumidouro ou na rede de drenagem pluvial, quando a disposição no solo não é adequado como disposição final do efluente. Isso perdura ao longo de toda a extensão do rio, degradando as águas que a região utiliza para o seu abastecimento de água potável a partir da Estação de Tratamento de Água de Parobé (Plano Diretor de Igrejinha - RS, 2006; Plano Diretor de Parobé - RS, 2001; Plano Diretor de Taquara - RS, 2022; Plano Diretor de Três Coroas - RS, 2006) .

Como resultado da ocupação do solo tem-se a impermeabilização do solo, ocupação das faixas marginais de proteção dos rios, desmatamento, retificação do canal e resíduos sólidos jogados diretamente nas águas. Acrescenta-se a isso, os cursos d'água comuns na região que foram canalizados na justificativa de condução de dejetos e condições de saúde pública por uma rede de drenagem pública de uso mista, conduzindo águas de chuva, águas infiltradas a partir do solo saturado e resíduos de esgoto doméstico tratados por fossa séptica. Sem critérios de dimensionamento, em chuvas intensas essas tubulações transbordam e causam inundações com danos materiais, sociais e ambientais, trazendo impactos na saúde da população (Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2020).

Sem exceção para as quatro cidades, as redes de drenagem foram construídas com base no que se chama de modelo higienista, onde o propósito no transporte das águas é coletar e transportar o mais rápido possível até o ponto de despejo, de forma a evitar inundações pontuais. Nesse formato, surgiram canais de drenagem cobertos para onde as águas eram conduzidas, escondendo o problema em canalizações sob o leito das ruas ou até mesmo dentro dos lotes. É a tentativa do homem de se sobrepor a natureza, se apropriando do espaço de forma contraditória.

Incorporar soluções ambientais de baixo impacto ambiental ou soluções urbanas de drenagem sustentável – SUDS, altera a forma de construir o sistema de drenagem pluvial onde, com gestão e manejo das águas de drenagem, conceitos como infiltração e retenção das águas de chuva, resultam em menores vazões a

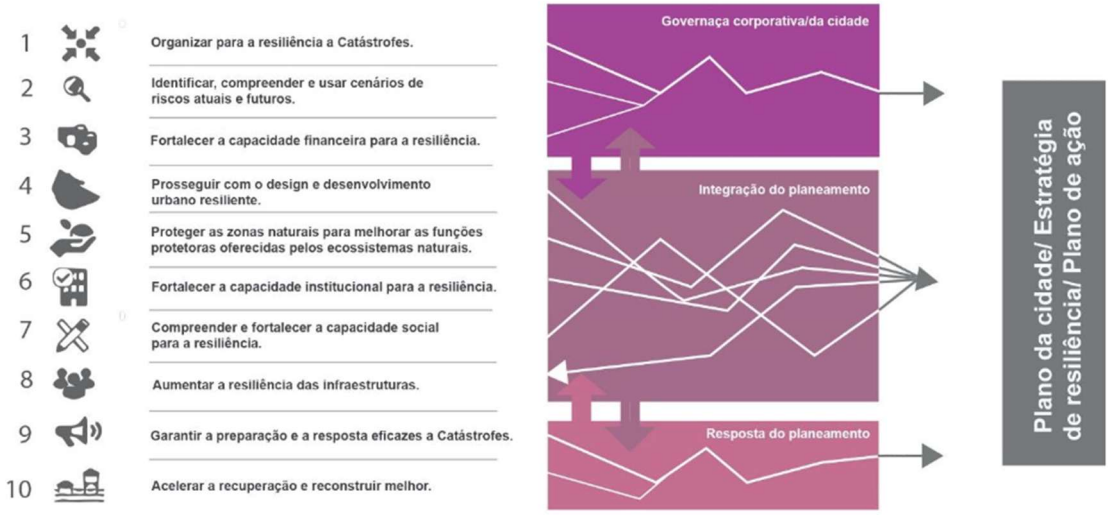
escoar e redução do pico de cheia, na busca de recompor as condições naturais do ciclo hidrológico da bacia (Marques; Junior, 2014:Woods Ballard *et al.*, 2015;Alves; Orlando, 2021).

Resiliência, em física, é a capacidade que alguns corpos possuem de voltar a sua condição inicial após terem sido submetidos à uma deformação plástica. Em urbanismo, é possuir ferramentas de gestão e controle do espaço urbano para prevenir, mitigar ou até mesmo eliminar problemas relacionados com danos urbanos irreversíveis (Pinheiro *et al.*, 2022)

Cidades resilientes é um tema que ganhou importância nesta década, com a ONU definindo como aquelas que possuem a capacidade de sistemas, sociedades ou comunidades enfrentarem os riscos que se estão expostos, possuindo resiliência aos perigos, acomodação, absorção, adaptação, transformação e recuperação dos efeitos sofridos oportunamente e com eficiência, incluindo a preservação e restauração das estruturas básicas vitais e funções por meio de gestão dos riscos (Santos; Castañon, 2022).

Planejamento urbano que visa a resiliência das cidades a partir da infraestrutura da drenagem pluvial integra governos municipais, empreendedores e moradores na busca de soluções eficazes que contribuam para tornar a região mais inclusiva, resiliente e ambientalmente equilibrada, atendendo os Princípios de Construção de Resiliência da ONU números 4, 5, 6, 7, 8 e 9 e listados na figura 3 (Fabrício *et al.*, 2019; Santos; Castañon, 2022).

Figura 3: Dez princípios para se construir cidades resilientes



Fonte: Santos; Castañon (2022)

Antes limitado a abertura de vias e divisão de glebas em lotes, o planejamento urbano amplia suas metas e obrigações. O cadastro imobiliário da prefeitura municipal, que cumpre a importante função de manter atualizada a base cartográfica do município mas ignorado na participação de elaboração de políticas públicas, deve ser atualizado e complementando para elaborar um diagnóstico identificando pontos fortes, vulnerabilidades, áreas de riscos, ilhas de calor, pontos de inundação, populações em risco entre outros dados considerados importantes e significantes, dando uma nova definição para o existente, denominado de Cadastro Técnico Multifinalitário (Pessoa; Filho; Rocha, 2019).

Instituído nos planos diretores a partir do Estatuto das Cidades, a ODCC ou instituto do solo criado, como é mais conhecido, regula o direito de construir nas cidades, controlando a densidade e o uso do solo. Utilizado com parcimônia, deve

ser utilizado onde a infraestrutura consolidada permite a densificação no uso do solo, podendo ser construído além dos índices urbanísticos previstos, daí o nome “solo criado”. Entre as vantagens, podem ser citadas: (i) controle da densidade; (ii) financiamento de projetos urbanos; (iii) verticalização e; (iv) flexibilidade no uso do solo. Em contrapartida, verifica-se algumas desvantagens são: (i) gentrificação, valorizando áreas e expulsando moradores de baixa renda; (ii) ampliação de desigualdades sociais e econômicas; (iii) impactos ambientais e; (iv) especulação imobiliária (Rezende *et al.*, 2009; Silva; Moraes, 2015; Martins; Magami, 2023)

Os municípios banhados pelo Rio Paranhana que frequentemente sobre com alagamentos, enchentes e inundações, tem o desafio de planejar o desenvolvimento urbano visando a resiliência das cidades, entendendo a bacia hidrográfica como elemento de regionalização na busca de soluções em conjunto. Para isso, a análise da infraestrutura de drenagem urbana deve ser condicionante para o aceite de novos empreendimentos, mantendo as condições iniciais do lote no lançamento das águas de chuva com o incentivo no uso de SUDS.

O aumento da resiliência da(s) cidade(s) é feito a partir do estabelecimento de objetivos e métricas. Aonde a região quer chegar e de que forma atingirá o objetivo. Dentro desse contexto, fica evidente que o desenvolvimento urbano sustentável deve atentar para a preservação do meio ambiente, principalmente no que se refere aos efeitos de chuvas intensas que deixam um rastro de prejuízo não apenas financeiro, mas também social e ambiental. Dessa forma, esta pesquisa contribui para refletir acerca do atual cenário à comunidade acadêmica, à sociedade, organizações e atores envolvidos evoluindo para uma proposta de análise de método de avaliação para o ambiente construído a finalidade de buscar o ambiente resiliente.

A pesquisa não pretende ser um fim em si, mas contribuir para futuras pesquisas no contexto acadêmico, instigando novos estudos e multiplicação de informações relevantes para o Desenvolvimento Regional, relacionando com a pesquisa Economia, Meio Ambiente e Dinâmicas de Desenvolvimento Territorial Sustentável. No tocante aos municípios objeto do estudo, contribui pra implementar ações e políticas públicas expressas nos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano, Planos Ambientais e Planos de Mobilidade Urbana que venham a apoiar o desenvolvimento urbano sustentável bem como a promover a requalificação urbana do ambiente construído.

Para este pesquisador, em relação ao âmbito pessoal, educacional e social,

contribui com o aprendizado e novas percepções acerca do desenvolvimento regional, suas diversidades, desafios adversos da sociedade, da interação do ser humano com o meio ambiente, das relações entre as instituições públicas com organizações privadas, do uso do solo urbano e suas consequências. Igualmente, no aspecto profissional, possibilidades de compartilhamento e cooperação nos espaços de atuação.

O presente estudo está estruturado em seis seções, sendo a primeira composta pela introdução. A segunda contempla a fundamentação teórica apresentando os índices urbanísticos que atual sobre o uso e ocupação do solo e definem a morfologia da cidade, a outorga onerosa do direito de construir OODC e a quota ambiental, além técnicas não destrutivas para estudo das áreas urbanas dos municípios e técnicas de drenagem sustentável e a integração BIM-GIS que oportuniza ao gestor urbano um olhar do território como um sistema a ser administrado de forma eficiente. A terceira seção é dedicada à metodologia utilizada, detalhando os estudos, análise e resultados obtidos. A quarta seção, é feita a análise do ambiente construído, desde a parte documental a partir das legislações municipais, passando para o real através da modelagem digital de elevação da bacia do Rio Paranhana e feitas as considerações a partir dessa interação dos índices urbanísticos, da utilização do SUDS como elemento de ampliação da resiliência do ambiente construído e o uso do instrumento OODC a partir da utilização do controle de drenagem pluvial na fonte, que fundamentam essa pesquisa. A quinta seção apresenta as discussões e a proposta de método a ser utilizado pelos municípios objeto do estudo na reformulação de legislação e posterior avaliação de projetos na busca do aumento da resiliência do ambiente construído e, por fim, a sexta seção contempla a conclusão da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AMBIENTE CONSTRUÍDO

Não existe na literatura uma definição no ambiente do planejamento urbano para o termo “ambiente construído” como um objetivo fixo mas conceitos a partir de olhares diferentes. No âmbito do planejamento urbano e áreas afins define-se como um sistema produzido materialmente, composto por edificações, redes de infraestrutura, terrenos, ruas, espaços públicos e outros espaços modificados pelo homem. A partir da antropização do ambiente natural, temos um ambiente construído (Nielsen; Farrelly, 2019).

Conceituando na sua forma básica, ambiente construído inclui todas as estruturas físicas projetadas e construídas pelo homem, transformando o espaço natural em espaço construído. Essas estruturas incluem as casas, salas comerciais, edificações industriais, condomínios verticais residenciais, prédios públicos, parques, espaços destinados a mobilidade urbana. No início do século XX, as áreas urbanas eram compactas com uma zona central com uma mistura de habitações, serviços e pequenas indústrias irradiavam a partir da zona central. Nos últimos 50 anos, ocorre o fenômeno de ocupação das periferias com afastamento da zona central, caminhando em direção a empreendimentos de menor densidade, segregação do uso do solo com a troca do uso rural por ocupação urbana e construção extensiva de vias de ligação, aumentando as distâncias percorridas por transporte motorizado (Dearry, 2004).

Sob o ponto de vista social, o espaço antropizado possui histórias e as edificações possuem significados e dos habitantes do “ambiente construído” podem ser extraídas conclusões que fazem entender os procedimentos da arquitetura do lugar e da forma da ocupação, não se limitando a ocupação do espaço familiar, mas formando uma identidade do local. Os urbanistas recebem a companhia dos antropólogos e levantam questões como as diferenças das formas construídas, natureza destas diferenças, fatores sociais e culturais que influenciam nas edificações e que torna inseparável o físico do comportamental. Nesse olhar, o “ambiente construído” é o conjunto do físico com as interações humanas ocorrendo mudanças a partir das influências do comportamento e organização da população que ocupa a rua, bairro ou cidade em estudo (Lawrence; Low, 1990).

Ao incluir na conceituação de ambiente construído o fator tempo, formula-se uma teoria sobre a linha divisória de quando e onde o “ambiente natural” passa para “ambiente construído” passando por atributos culturais que variam de acordo com o contexto histórico. Ao considerar o fator tempo, o ambiente construído é ampliado além do físico e comportamental da sociedade, mas resultado do cultural a partir das migrações, períodos de riquezas ou crises econômicas que permitem avaliar o impacto de políticas de gestão e as adaptações sociais resultantes desses movimentos, tanto no macro como no micro (Moffatt; Kohler, 2008).

O fator econômico impacta no “ambiente construído” na velocidade de expansão do crescimento ou desenvolvimento. Formado pelos edifícios onde vivemos, trabalhamos e consumimos, atendidos pelas redes de distribuição de água e eletricidade, vias de circulação, áreas de lazer, o ambiente construído nos proporciona segurança, saúde, bem-estar e sentido aos habitantes como um local para morar, trabalhar, viver, aprender e prosperar. E essa prosperidade leva a aceleração do crescimento, com ou sem planejamento urbano, esboçando uma interpretação econômica à estagnação do ambiente construído quando da falta de investimento especulativo. Nesse olhar, o capital especulativo expande o ambiente construído com novos empreendimentos imobiliários na mesma velocidade com que abandona centros já construídos e urbanizados, deixando um rastro de abandono que pode afetar o bem-estar da população e provocando a redução do capital social (Cruz; Fonseca, 2018; Dearry, 2004; Harvey, 1978).

Portanto, as conceituações do ambiente construído, além da morfologia urbana, abrangem as áreas econômica-política-espacial, planejamento e desenho urbano e cada elemento deve ser considerado ao preparar qualquer forma de mudança sistêmica visando a resiliência e sustentabilidade. Para fins dessa dissertação, entende-se o território do ambiente construído como um conjunto de ambientes físicos construídos, que sejam simultaneamente resistentes, resultado de interações entre múltiplos sistemas em ação e transição, com a capacidade de influenciar sistemas durante toda a vida útil da forma construída.

2.2 AMBIENTE RESILIENTE

Da mesma forma que o termo ambiente construído onde a definição depende do olhar do analista, o conceito de resiliência, na incorporação de medidas e estratégias adotadas por parte das administrações públicas para a Redução de Riscos e Desastres (RRD), que corresponde a uma rede sustentável de sistemas físicos e capacidades humanas e faz retornar no menor prazo possível, o seu funcionamento e desenvolvimento básico após uma perturbação. Hoje, as cidades tem a obrigação de adotar medidas de curto, médio e longo prazo que propiciem a capacidade de adaptação de preparação, aprendizagem e auto-organização a fim de reduzir as vulnerabilidades – social, ambiental e econômica – existentes na ocorrência de desastres (Domingues; Chiroli, 2022).

O termo resiliência segundo a ABNT NBR ISO 37123:2021 é a capacidade adaptativa de uma organização em um ambiente complexo e em mudança e, cidade resiliente é a cidade capaz de preparar-se, adaptar-se recuperar-se e adaptar-se aos choques e tensões, condições essas cada mais frequentes e intensas devido as mudanças climáticas. Dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, o objetivo 11: Tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, apresenta a relação entre resiliência e sustentabilidade como intrínseca e bidirecional e a necessidade de se refletir a resiliência urbana se faz não somente quando a sociedade é acometida por algum desastre mas considerar que o processo de resiliência, em todo o contexto do ambiente construído, é contínuo e faz parte do processo de evolução da cidade, principalmente na apropriação de espaços naturais para urbanização, não focando apenas no atendimento emergencial da Defesa Civil e ações pontuais e emergenciais como alagamentos, inundações e outros riscos (Bruel *et al.*, 2022).

Sustentabilidade como ideia de gestão urbana nasceu e desenvolveu como uma solução para a sociedade, propondo mudanças no estilo de vida humana e das estruturas das cidades. Ações voltadas à sustentabilidade são ferramentas necessárias para desenvolver comunidades a viver de maneira equilibrada com o ambiente e respeitando as gerações futuras. Mas quando desacompanhadas de resiliência, essas ações não produzem o resultado esperado, com os eventos climáticos extremos forçando o desequilíbrio na preservação dos recursos e tornando as cidades vulneráveis. A resiliência é uma condição necessária para que a

sustentabilidade se mantenha no tempo e transforme o planejamento urbano, saindo de um modelo estático de eficiência para um modelo dinâmico de segurança climática (Silva, 2016; Teixeira; Pessoa, 2021).

O aumento da resiliência urbana envolve a implementação de políticas públicas estratégicas com foco em mitigar as ameaças provindas de eventos climáticos extremos. Não se limitando na gestão técnica da cidades, abrange a gestão de recursos e investimentos para atender as crescentes demandas sociais, combinando medidas estruturais e não estruturais que fortaleçam a infraestrutura urbana e promovam adaptações na infraestrutura construída. A preservação de áreas verdes, uso adequado do solo, restauração de ecossistemas degradados, promoção de educação, cultura e preparação para desastres que sirvam para envolver a comunidade, criação de sistemas de monitoramento e alerta precoce, implementação de planos de emergências eficazes dentre tantas outras medidas fazem da resiliência urbana um campo multidimensional que exige a integração de políticas públicas, participação comunitária e inovação tecnológica no enfrentamento aos desafios gerados pelas mudanças climáticas (Godoy; Benini, 2024).

Em 2010, foi lançada pelo Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNISDR/ONU) a Campanha “Construindo Cidades Resilientes – Minha cidade está se preparando”, ainda sobre o período de adoção do Marco de Ação de Hyogo que vigorou entre 2005 e 2015. A campanha teve como objetivo de aumentar o perfil da resiliência e redução de riscos de desastres entre os governos locais e comunidades urbanas de todo o mundo, fortalecendo a liderança local e aumentando a vontade política para a redução dos riscos de desastres, com foco em aumentar a conscientização e a defesa de direitos da população (Bruel *et al.*, 2022).

Sendo o sucessor e com a experiência adquirida do Quadro de Ação de Hyogo, o Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030 possui as prioridades a seguir: (i) compreender os riscos de desastres; (ii) fortalecer a governança do risco de desastres para gerenciar esse risco; (iii) investir na redução do risco de desastres para promover a resiliência e; (iv) melhorar a preparação para desastres a fim de garantir uma resposta eficaz e “reconstruir melhor” nas fases de recuperação, reabilitação e reconstrução (Santos; Castañon, 2022)

Instituída em 2012, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil-PNPDEC é a porta de entrada do Marco de Ação de Hyogo e do Marco de Sendai no Brasil, estabelecendo as atribuições para enfrentar eventos climáticos extremos e minimizar

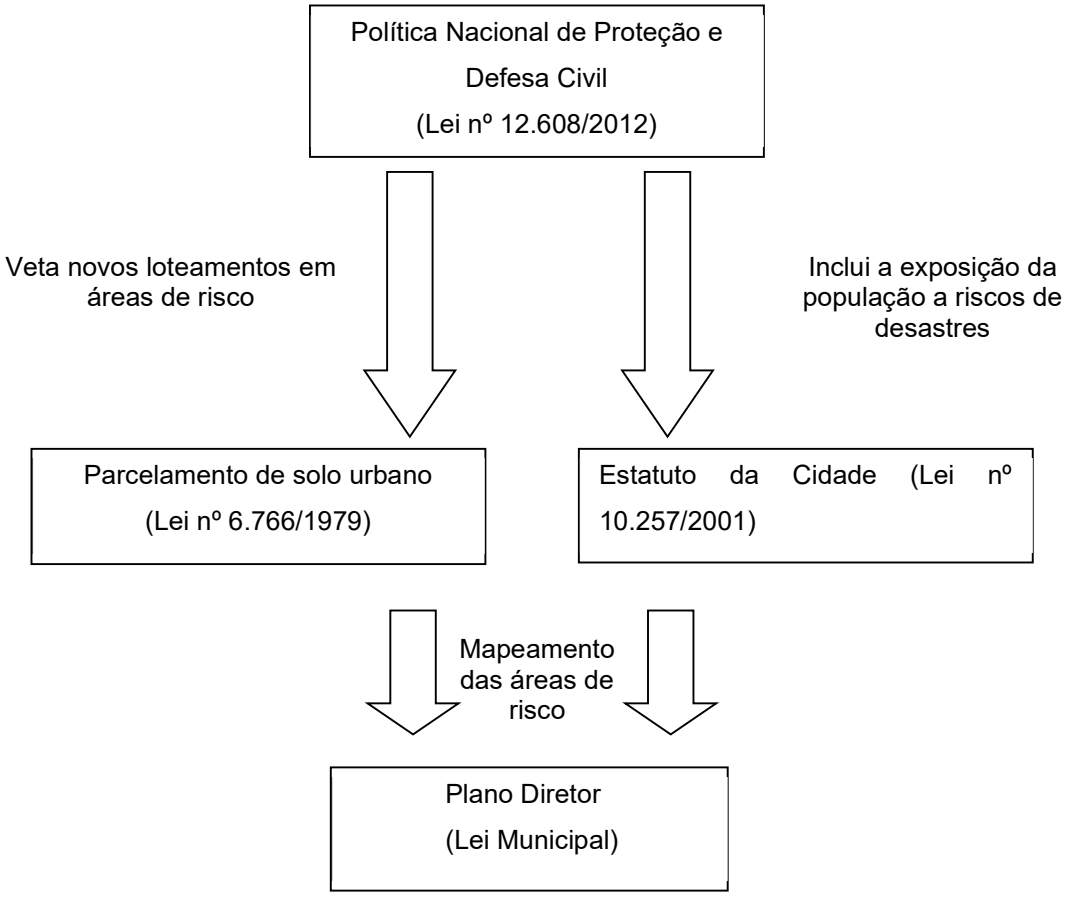
riscos e impactos de desastres nas esferas federal, estadual e municipal. Em seu artigo 8º, estabeleceu para o município executar e articular ações que integrem a PNPDEC ao planejamento urbano e territorial, onde se pode destacar de forma sintética: (i) identificar, mapear, monitorar e fiscalizar áreas de risco, restringindo novas ocupações; (ii) emitir alertas antecipados e informar a população sobre riscos e procedimentos de prevenção; (iii) atuar na preparação e respostas a desastres, incluindo a realização de simulados, evacuação de áreas vulneráveis, organização de abrigos provisórios, gestão de suprimentos e avalição de danos; (iv) promover a articulação com os demais entres federativos, estimulando a participação comunitária e de entidades civis com a capacitação de voluntários e; (v) garantir soluções de moradia temporária às populações afetadas (BRASIL Lei nº 12.608 Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, 2012).

Com foco em medidas estruturais para reduzir exposições, perigos e ameaças sobre desastres e medidas não estruturais para compreender e implementar a precaução e a RRD como não retrocesso na vulnerabilidade socioambiental, que integra as vulnerabilidades nas dimensões social e ambiental, a PNPDEC inibe a ocupação das áreas ambientalmente vulneráveis e de risco com a realocação da população residente nessas áreas são responsabilidade do município e estado, nas suas devidas competências. A alteração no Estatuto da Cidade nos artigos 42-A e 42-B e na Lei 6.766/79 que regula o parcelamento do solo exigindo que o município que pretenda ampliar seu perímetro urbano apresentem projeto específico com conteúdo sobre ameaças de desastres naturais, a aprovação do parcelamento de solo ficou vinculada ao atendimento dos requisitos constantes da carta geotécnica de aptidão à urbanização, nas áreas suscetíveis e movimentos de massa, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (Coutinho *et al.*, 2015; Souza; Rocha, 2026).

No ambiente construído, os problemas socioambientais se intensificam e se tornaram um grande desafio no século XXI, atingindo o funcionamento da infraestrutura construída, principalmente depois da intensificação do processo de urbanização-industrialização que gerou pressão sobre uma infraestrutura deficitária ou até mesmo inexistente, onde o sistema hídrico é o primeiro a demonstrar os sinais da degradação ambiental, chamando a atenção dos gestores públicos, principalmente devido aos sérios prejuízos causados à população, à infraestrutura construída e aos serviços localizados nas áreas atingidas (Farias; Mendonça, 2019).

Com isso, a revisão dos planos diretores municipais com a obrigatoriedade na incorporação das informações das áreas de risco de desastres e a lei de parcelamento de solo devem relacionar-se com o artigo 8º do PNPDEC, direcionando os esforços para o gerenciamento dos riscos de desastres e, integrada com políticas de outras áreas como a atuação da defesa civil municipal e na educação básica municipal, ser considerada como forma de ampliação da resiliência do território, obedecendo a figura 4.

Figura 4: Interfaces da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei Federal 12.608/2012), Política Urbana e Parcelamento do Solo



Fonte: (Reani *et al.*, 2020)

Dessa forma, os municípios passam a ter responsabilidade na identificação das populações expostas a riscos e na inclusão de áreas suscetíveis a desastres dentro do seu planejamento urbano, prevendo ações de prevenção e mitigação de impactos negativos resultante de desastres e estabelecimento de diretrizes para a regularização de assentamentos urbanos com áreas de habitação de interesse social. A visão reativa de respostas e recuperação à desastres deve ser revista para ações de

prevenção bem estruturadas para se evitar a interrupção dos serviços, danos e prejuízos na ocorrência de eventos extremos (Ferentz; Garcias, 2020).

2.3 PLANO DIRETOR

O plano diretor, após o Estatuto da Cidade, deixou de ser um instrumento de gestão e planejamento do território, mas um instrumento de controle social nas cidades, promovendo a gestão e o planejamento urbano e ambiental. Regulamentado pela Constituição Federal nos seus artigos 181 e 182 e pelo Estatuto da Cidade alguns autores defendem que ele deve abordar as mudanças climáticas em seus dizeres (Gonçalves; Moura, 2022).

Considerando que existe uma relação entre planejamento urbano-territorial com mudanças climáticas e é função do Estado proteger o cidadão, os planos diretores dos municípios devem, além de contribuir para o desenvolvimento e planejamento urbano territorial, também prever medidas para superação dos desafios impostos pelas mudanças climáticas em eventos extremos. Dessa forma, os planos diretores são ferramentas fundamentais para o aumento da resiliência com medidas de mitigação e de adaptação. Medidas de mitigação são menos onerosas para os cofres públicos além de entendimento e resultados mais rápidos. Medidas de adaptação são mais custosas e complexas, com resultados a longo prazo (Silva Junior; Szlafsztein, 2025).

Na esfera estadual e intermunicipal, novas experiências estão acontecendo com a formação de consórcios para o desenvolvimento regional e na formação/manutenção dos comitês de bacia hidrográfica que, pelo PNPDEC é a unidade básica de planejamento urbano. A forma de organização dos comitês das bacias hidrográficas, integrando regionalmente órgãos e entidades governamentais e não governamentais proporcionou o surgimento de novos agentes sociais no processo de tomadas de decisões, sendo capaz de impulsionar a interação com os processos de uso e ocupação de solo do território. A inclusão da zona rural no planejamento dos municípios, articula a gestão territorial integrada dos sistemas naturais e antrópicos, visando o aumento da sustentabilidade de uma região a partir do adequado uso e ocupação do solo (Peres; Chiquito, 2012).

Resultado como uma “idealização da cidade” o plano diretor é visto como um instrumento normativo da morfologia da cidade na medida que trazem dentro da legislação, parâmetros que determinam a concepção da cidade e de ordenamento territorial. Instrumentos como taxa de ocupação, índice de aproveitamento, recuos, gabaritos, dimensões mínimas de lote, regras de parcelamento de lote moldarão a cidade quanto à densidade, volumetria, construção de edificações e expansão horizontal da cidade operando como mediadores de densificação ou rarefação da ocupação do solo (Lima; Monasterio, 2024; Ultramari; de Oliveira da Silva; Meister, 2018).

Não apenas organizando, mas também forçando uma morfologia ao distribuir parâmetros distintos entre setores da cidade, os índices urbanísticos delimitam onde a cidade pode crescer, com que intensidade e qual a volumetria desejada, podendo verticalizar o adensamento ou rarear de forma horizontal, influenciando diretamente na mancha de expansão urbana. Os índices urbanísticos devem ser vistos como parte da política urbana de uso e ocupação do solo e não como um simples acessório da regulação edilícia. Os parâmetros ao idealizar a cidade, definem e disciplinam o desenvolvimento social e espacial da cidade ao provocar a valorização ou depreciação fundiária e a organização do espaço construído. A realização do urbanismo planejado não acontece de forma automática, sendo resultado da articulação fundiária e mercado imobiliário, capacidade institucional e contexto urbano específico (Carvalho; Netto; Saboya, 2025; Ultramari; de Oliveira da Silva; Meister, 2018).

2.3.1 Taxa de ocupação

O índice “taxa de ocupação”-TO atua diretamente sobre a ocupação do solo, influenciando a forma urbana, permeabilidade do solo e a relação entre edificação e espaço livre dentro do lote. É a relação percentual entre a projeção horizontal da edificação no solo e a área total do lote, independente do número de pavimentos, sendo expressa no plano diretor municipal como um índice máximo admissível. Pode ser expressa matematicamente como:

$$TO = \frac{\text{área de projeção da edificação}}{\text{área do lote}} x100 \qquad \text{(Equação 1)}$$

A definição não deve ser aleatória porque é um resultado da interligação entre fatores urbanísticos, ambientais, sociais e infraestrutura. Em áreas com infraestrutura limitada deve-se adotar TO mais restritiva, o que resulta em um uso de solo que impede a excessiva impermeabilização do solo. No mesmo sentido de restrição, a proposição de uma TO como forma de preservação de superfícies permeáveis em áreas suscetíveis a inundações, solos de baixa capacidade de infiltração ou zonas ambientalmente sensíveis, mitigando o escoamento superficial e propiciando a infiltração das águas de chuva no solo, reduzindo riscos ambientais (Borba, 2020; Rolnik *et al.*, 2015) .

A taxa de ocupação tem influência direta na forma da cidade, onde valores elevados tendem a edificações horizontais e valores menores, combinados com o índice de aproveitamento maior, estimula a verticalização e afastamento entre edificações. Traz consequências ambientais, sociais e econômicas, podendo ser um indutor no desenvolvimento urbano da cidade, reduzindo o valor em áreas residenciais ou sensíveis ambientalmente como forma de preservar padrões de ocupação e aumentando ou flexibilizando em áreas centrais consolidadas, com tradição comercial e que não estejam sujeitas a riscos ambientais, incentivando a ocupação como forma de aproveitamento da infraestrutura construída (Maricato, 2011).

Como uma das principais consequências ambientais, a TO elevada contribui para o aumento do escoamento das águas de chuva, sobrecarregando os sistemas de drenagem construídos e deixando a cidade exposta a alagamentos e inundações urbanas. Restringindo a taxa de ocupação e associando à taxa de permeabilidade no lote, a infiltração das águas é favorecida e as áreas permeáveis mantidas, podendo ocorrer melhorias no microclima urbano ao dificultar a formação de ilhas de calor (Silva *et al.*, 2024).

A elevação do índice TO impacta a ventilação natural, insolação e áreas de convivência em condomínios residenciais, comprometendo o conforto ambiental das edificações. De forma contrária, taxa de ocupação muito baixa encarece o acesso à moradia por limitar a área edificável e potencializando o custo do metro quadrado construído, excluindo parcela da população do mercado habitacional. Portando, para termos uma cidade mais inclusiva e com melhor distribuição de espaços livres e qualidade ambiental urbana, faz-se obrigatório uma taxa de ocupação equilibrada (Rolnik *et al.*, 2015).

Como regulador indireto do valor do lote urbano, a taxa de ocupação mais permissiva, aumenta o potencial construtivo do lote, levantando o seu valor de mercado, podendo trazer a degradação ambiental como efeito colateral, aumentando a necessidade de investimentos na infraestrutura urbana. Uma taxa restritiva, quando não articulada com outros índices, como o índice de aproveitamento, desestimula investimento e reduz a atratividade econômica, induzindo a expansão periférica. A maior eficiência econômica do solo urbano é a articulação entre taxa de ocupação, índice de aproveitamento e políticas públicas complementares de ordenamento no uso e ocupação do solo urbano que evitem distorções no mercado imobiliário (Borba, 2020; Maricato, 2011).

Também resultado da TO, a proporção de ocupação e continuidade das fachadas influencia dinamicamente o uso dos espaços públicos e a característica econômica do uso do solo. Zonas com fachadas alinhadas favorecem a exploração comercial e atividades informais mas impactam no conforto térmico das ruas, impactando no microclima (Istrate, 2025).

A densificação no uso do solo reduz a ocupação periférica, favorecendo um melhor aproveitamento da infraestrutura urbana e a diminuição na necessidade do uso de transporte motorizado, afeta a coesão comunitária, proporciona um melhor acesso a serviços públicos e diminuição das desigualdades sociais. Nessas condições, ocorre a pressão do mercado imobiliário sobre os melhores imóveis. Atuando no sentido contrário, caso não tenha a infraestrutura construída adequada, agrava a demanda por serviços de água, esgoto, drenagem e energia, desestimulando o mercado imobiliário e seus investimentos (Berghauser Pont *et al.*, 2021).

2.3.2 Índice de aproveitamento

Definido como a relação entre a área construída total de uma edificação e a área do lote, não regula a projeção da edificação no solo mas a intensidade construtiva, permitindo configurações volumétricas para um mesmo índice, tanto horizontal como vertical. Na literatura internacional encontra similaridade com o índice Floor Area Ratio (FAR) e constitui um dos principais instrumentos da densidade urbana nos sistemas de zoneamentos.

$$AC_{max} = A_{lote} x\ IA \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

AC_{max} – área construída máxima
A_{lote} – área do lote
IA – índice de aproveitamento

A sua definição decorre de combinação de alguns critérios como: (i) capacidade da infraestrutura instalada, como transporte, serviços de saneamento, oferta de energia; (ii) estratégias de adensamento urbano, como expansão ou contenção da ocupação das periferias; (iii) objetivos ambientais, com a intensificação da ocupação em áreas já ocupadas e redução de ocupação em áreas protegidas ou de interesse ambiental e; (iv) instrumento econômico e fundiário, com o aumento da valorização imobiliária e melhor eficiência do uso do solo urbano infraestruturado (De-Ping *et al.*, 2023).

A intensificação controlada do uso do solo, em áreas bem servidas de infraestrutura contribui para um menor consumo de terra per capita, no melhor aproveitamento da infraestrutura e redução dos custos unitários na manutenção da infraestrutura. Como benefício indireto, a redução da necessidade do uso do veículo motorizado traz menores emissões de gases do efeito estufa e amplia a viabilidade do transporte coletivo e ativo, tornando-se um instrumento de política de mitigação climática. Pode-se acrescentar aos benefícios que o IA adequado e alinhado ao zoneamento e urbanismo propicia a concentração de atividades econômicas e o aumento de diversidade de usos em zonas mistas que incluam atividades residenciais, comerciais e serviços, proporcionando uma maior vitalidade urbana, na formação e manutenção de áreas centrais e eixos estruturantes (Berghauser Pont *et al.*, 2021; Usui, 2021).

Atuando de forma isolada e dissociado da taxa de ocupação, do uso de áreas permeáveis e controle volumétrico, um índice de aproveitamento elevado pode resultar em alta densidade construída com baixa qualidade ambiental, podendo ser citado como exemplos o sombreamento excessivo, redução da ventilação urbana e no agravamento do desconforto térmico em escala local. Mal administrado, potencializa o aumento da população e concentração econômica, podendo resultar na diminuição da qualidade, satisfação e saúde física da comunidade, precariedade das condições ambientais e ampliando a tendência para desastres urbanos, como inundações e doenças relacionadas a condições climática extremas (Paramita; Kusuma; Matzarakis, 2022).

Quando aplicado de forma excessiva, pode intensificar processos de gentrificação e desigualdades socioespacial, elevando preços dos lotes e consequentemente da habitação e proporcionando o crescimento desordenado da cidade, produzindo modelos excludentes quando o mercado imobiliário está aquecido. Zonas consolidadas com IA altos resultam em valores de terra muito altos, mas que não justificam a demolição de edificações existentes para construção de novas estruturas permitidas pelos índices, levando a descentralização da cidade e precarizando a oferta de serviços (Moon; Ahn, 2022).

2.3.3 Outorga Onerosa do Direito de Construir - OODC

A Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC), prevista no Estatuto da Cidade (Lei n.º 10.257/2001), constitui instrumento jurídico-urbanístico capaz de regular a densidade construtiva mediante contrapartida por parte do empreendedor quando optar por construir acima do coeficiente básico permitido pelo Plano Diretor. A contrapartida normalmente calculada em dinheiro tem seus recursos destinados à infraestrutura urbana, habitação social, áreas verdes e equipamentos públicos (Cymbalista *et al.*, 2007; Silva, 2019)

A OODC só aparece na legislação brasileira no Estatuto da Cidade, como instrumento de política de planejamento urbano, no ano de 2001. Antes disso, na década de 1970 foram lançados os fundamentos e a partir de 1990 se encontra registros de aplicação em municípios com a denominação de Solo Criado, denominação que evoluiu para OODC. A necessidade de criação de solos adicionais e a relação com a densificação de determinadas zonas da cidade, o subaproveitamento ou a compensação da sobrecarga sobre a infraestrutura urbana e a valorização das zonas fiscais do município resultado da urbanização são temas recorrentes de discussões sobre a aplicação do instituto, bem como a adoção de índices básicos e até mesmo unitários para a aplicação do instrumento ((Rezende *et al.*, 2009).

Os planos diretores municipais, regulam a densidade construtiva e o uso racional do solo a partir dos dois principais parâmetros construtivos: Taxa de Ocupação (TO) e o Índice de Aproveitamento (IA) ou Coeficiente de Aproveitamento (CA). Definidos pelo município os parâmetros são ponto de discussão entre incorporadores que querem adensar as áreas mais valorizadas e não se interessam

por áreas limítrofes, sendo o papel dos gestores municipais equilibrar o adensamento com mobilidade urbana e disponibilidade de serviços articulando com outras áreas do zoneamento municipal e puxando para dentro do desenvolvimento urbano a legislação ambiental com suas áreas protegidas e a manutenção do ambiente construído sem desvalorizá-lo (Villaça, 2001).

A definição e administração do índice de aproveitamento envolve questões técnicas quanto mecanismos econômicos, como a outorga onerosa do direito de construir que permite a ampliação do índice até limite estabelecido em legislação, mediante contrapartida do empreendedor. Essa gestão exige capacidade institucional para calibrar o índice mínimo de caráter técnico e máximo de caráter econômico, monitorando os impactos urbanos para calibrar os parâmetros. Analisando experiências recentes, pela falta de um sistema de gestão eficiente, mecanismos de controle e metas indefinidas de sustentabilidade urbana, os municípios encontram dificuldades em entender o IA, a OODC e relacionar os instrumentos com desenvolvimento urbano. A administração pública deve entender que o IA é instrumento central das políticas de desenvolvimento urbano e a sua efetividade depende de contínua revisão técnica (Falcoski; Junior; Junior, 2007).

Originalmente, o IA era, além de único na cidade, também considerado igual a 1 (um), o que hoje não se verifica nos planos diretores onde tem-se vários índices dentro da mesma cidade. Também se verifica diferentes metodologias no cômputo do índice, alguns desconsiderando as áreas comuns o que faz ampliar a área construída. Considerando que, grande parte das cidades apresentam índices considerando o seu mercado imobiliário, apesar de constar no Plano Diretor, a OODC não se torna necessária na compra de índices construtivos (Cymbalista *et al.*, 2007; Rezende *et al.*, 2009).

Furtado (2017) lista razões que justificam as experiências municipais com a OODC, encaminhando um conjunto de questões essenciais para um desenvolvimento urbano mais equilibrado para as cidades. Segundo ele, (i) esta linha de atuação pública contribui para a justa distribuição dos benefícios e ônus da urbanização; (ii) equilibra os impactos econômicos das decisões urbanísticas, minimizando os efeitos da valorização diferenciada dos terrenos em diferentes zonas; (iii) o próprio processo imobiliário permite a obtenção de recursos para construção das necessárias infraestruturas para o empreendimento, podendo direcionar esses recursos para

áreas com infraestrutura inexistente ou insuficiente, reduzindo as desigualdades socioespaciais.

Visto como um instrumento como gerador de receitas, também apresenta riscos de financeirização do urbanismo em detrimento da política pública de desenvolvimento urbano, reforçando as dinâmicas do mercado que podem ampliar as desigualdades no território, quando mal aplicado. Não devem ser subestimadas as interações que ocorrem entre planejadores, empreiteiros, incorporadores e atores financeiros na valorização e financeirização do uso do solo, deixando o gestor do município em segundo plano (Klink; Stroher, 2017).

Sendo um instrumento ainda pouco utilizado no Brasil, com exemplos significativos apenas em grandes cidades e onde o mercado imobiliário é movimentado, estudos de caso ainda não são conclusivos sobre vantagens ou desvantagens. Em Fortaleza, o uso de OODC em conjunto com a regulamentação da Outorga Onerosa de Alteração do Uso do Solo (OOAU) possibilitou aos incorporadores elevarem os preços de comercialização das unidades e lucros extraordinários, ação essa viabilizada pela flexibilização de diferentes índices urbanísticos e sem limites máximos, contrariando legislações superiores e ampliando desigualdades socioespaciais, concentrando os empreendimentos que se valeram desse instrumentos em uma porção restrita de maior valorização de Fortaleza, distorcendo a planta de valores do município (Aldigueri; Rosa, 2022).

Enquanto que no Brasil o instrumento é utilizado para angariar fundos para execução de obras de infraestrutura verde, no exterior, legislações similares forçam o empreendedor a construir estruturas em prol da região ou a jusante do empreendimento. Na década de 1990, uma geração de programas de Transferable Develomment Rights – TDR foi concebida e implantada para melhorar o mercado de direitos transferíveis, indicando áreas para receber os benefícios em áreas rurais e periféricas, onde o desenvolvimento acontece de forma mais lenta e desorganizada.

Apesar das boas intenções, a mecânica do programa faz sentido para grandes propriedades rurais, beneficiando uma parcela de proprietários de grandes áreas. Além disso, o bônus de densificação não é claro, não apresentando os bônus de densificação por TDR e, como seria aplicado em pequenas propriedades rurais (Linkous, 2016).

Chen (2022) cita em seus estudos que em caso de entrega de contrapartidas (habitação social, áreas verdes, telhados verdes, SUDS), o proprietário pode ser

beneficiado por descontos na taxa de pluvial, desde que os resultados sejam considerados bons. Os principais incentivos utilizados foram: (i) elaboração de leis e regulamentos visando a sustentabilidade dos empreendimentos; (ii) oferta de assessoria técnica para proprietários e construtores sobre técnicas sustentáveis; (iii) bônus no índice de aproveitamento para quem instala telhado verde que cobre mais de 50% da área do telhado; (iv) prioridade no licenciamento de projetos sustentáveis; (v) ajuda ou apoio financeiro na construção, para quem utiliza projetos sustentáveis; (vi) desconto nas taxas de drenagem pluvial; (vii) crédito fiscal, com redução no imposto predial e; (viii) juros subsidiados para a edificação, sua manutenção ou retrofit.

Na cidade de Cracóvia, Polônia, taxas cobradas por contribuição ao escoamento pluvial, com sistemas de descontos ou créditos quando os proprietários adotam SUDS mostram os efeitos positivos para estimular o uso de infraestruturas verdes com o passar do tempo, não apresentando resultados visíveis em curto prazo. Para obter descontos, existem critérios que devem ser observados, como por exemplo, o uso de reservatórios de retenção mas a legislação falha quando não consideraram a infiltração no solo no dimensionamento dos sistemas de infraestrutura verde (Godyń; Muszyński; Grela, 2022)

A publicação do Lincoln Institute of Land Policy, Global Compendium of Land Value Capture Policies, analisa e apresenta uma série de institutos políticos que permitem aos governos capturar os aumentos do valor da terra a partir de intervenções públicas, tais como investimentos em infraestruturas ou alterações na forma de uso do solo. Conclui que, apesar dos benefícios das políticas públicas sobre o uso e ocupação do solo, a falta de um quadro de interlocução dificulta o intercâmbio de boas práticas e idéias inovadoras (OECD; Lincoln Institute of Land Policy; PKU-Lincoln Institute Center, 2022).

O movimento de adoção de infraestruturas verdes e a necessária urgência à adaptação a eventos climáticos extremos, torna-se necessária a criação de mecanismos de avaliação para financiamentos e incentivos para quem implanta a infraestrutura verde em seu empreendimento, podendo incluir taxas de juros menores e diminuição nas alíquotas de impostos prediais e taxas de manutenção predial como forma de internalizar serviços ambientais prestados por propriedades ou empreendimentos particulares. A abordagem sugere que a contrapartida exigida pela OODC pode ser substituída ou ajustada por intervenções de SUDS, transformando

créditos ambientais em créditos imobiliários e urbanísticos, alinhando o direito de construir com a função social da propriedade e na sustentabilidade urbana. Com um viés diferente da forma brasileira de aplicar a legislação, visualiza-se como uma via promissora para incrementar SUDS nas edificações ou infraestruturas verdes nas cidades, principalmente nas zonas sensíveis a eventos climáticos extremos, contribuindo à resiliência urbana, conservação dos recursos hídricos e redução de gastos públicos com drenagem convencional. Complementarmente, com essa exigência nos planos diretores de forma clara é possível estabelecer critérios técnicos e normativos que assegurem o dimensionamento, construção e monitoramendo do SUDS, legitimando a aquisição do potencial construtivo com a obrigação de implantação de infraestrutura verde (Vicente; Faria; Formiga, 2024b).

Além da OODC, instrumento previsto no Estatuto da Cidade, outro instrumento – Operação Urbana Consorciada (OUC) - permite ao poder público através de contrapartidas, incentivos e mecanismos financeiros, promover transformações urbanísticas estruturais em áreas específicas da cidade, em parceria com a iniciativa privada ou sociedade. A OUC se relaciona com a OODC, onde o município pode definir regras específicas para cobrança ou isenção de taxas para empreendimentos e o empreendedor “compra” potencial construtivo adicional construtivo e o município arrecada para fazer as obras de infraestrutura. Outra possibilidade, o empreendedor executa as necessárias obras e se credita de potencial construtivo em determinadas zonas do município.

A revisão da literatura nacional e internacional, com ênfase em estudos de caso e marcos normativos vigentes, evidencia diferenças significativas quanto à concepção, regulamentação e gestão do instrumento da Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC) e de seus equivalentes adotados em experiências estrangeiras. Tais divergências manifestam-se tanto nos fundamentos teóricos que orientam a aplicação do instrumento quanto nos objetivos e resultados esperados de sua implementação. O Quadro 1 apresenta um comparativo sistemático entre as distintas abordagens conceituais e operacionais do instrumento, destacando as finalidades atribuídas ao instrumento em cada contexto analisado e os desdobramentos práticos decorrentes de sua aplicação.

Quadro 1: Comparativo direto do instrumento OODC no Brasil e similares no exterior

	Brasil	Exterior
Finalidade principal	Arrecadação e negociação caso a caso	Planejamento estratégico + resiliência urbana
Vinculação a SUDS	Excepcional e pouco normatizada	Frequente e integrada aos parâmetros urbanísticos
Capacidade técnica municipal	Muito desigual entre municípios	Alta, com equipes especializadas e capacitadas que utilizam metodologias consolidadas
Governança	Fragmentada, com forte influência dos incorporadores	Estruturada, protocolos claros de contrapartida
Transparência nos cálculos	Baixa, poucos relatórios públicos	Alta, valores mapas e metas divulgadas continuamente e regularmente
Uso de indicadores	Predominância de indicadores urbanísticos clássicos (taxa de ocupação, índice de aproveitamento, viário)	Predominância de indicadores ambientais, hidrológicos e de infraestrutura verde
Resultados usuais	Melhorias urbanas tradicionais, impacto moderado na drenagem	Redução de cheias, aumento da permeabilidade urbana, desempenho hidrológico comprovado
Risco	Captura por interesses privados	Financeirização controlada e mitigada por governança técnica

Fonte: o autor (2025)

A visão arrecadatória da legislação brasileira do instrumento OODC em detrimento de ser encarada como indutor de desenvolvimento urbano sustentável e de infraestrutura verde se sobressai, alicerçada sobre uma governança fraca que se vale da falta de capacidade técnica municipal. No exterior, com visão de desenvolvimento e transformação urbana voltada à metas socioambientais e alicerçada em governança estruturada e legislação clara, as abordagens de valor se estruturam em metas hidrológicas definidas, monitoramento contínuo e indicadores ambientais robustos.

Portanto, a OODC e similares apresentam potencial para recuperar mais-valias e financiar o desenvolvimento urbanístico da cidade e políticas redistributivas, principalmente na área de infraestrutura, mas seu desempenho está atrelado a definição técnica do índice de aproveitamento – mínimo e máximo, capacidade administrativa de gerenciamento e acompanhamento dos resultados, regime de preços e negociação adequada e politicamente, coordenação das políticas habitacionais com o uso de solo. Na falta de um desses elementos, o instrumento pode favorecer áreas já valorizadas em detrimento de áreas periféricas e sem a infraestrutura adequada, aumentando as desigualdades socioambientais (Rezende *et al.*, 2009).

Dentre os fatores de sucesso da aplicação do instrumento entre os casos apresentados em literatura científica, pode-se listar:

a) Nadalin (2023) cita como fator principal, uma legislação clara, esclarecedora e previsível, definindo o índice de aproveitamento básico, limite máximo, fórmula da contrapartida, possíveis isenções e onde os recursos deverão ser aplicados. A previsibilidade jurídica deve ser para reduzir litígios e facilitar as negociações em prol do urbanismo;
b) Rezende *(*2009) indica que o índice de aproveitamento básico deve estar bem fundamentado e justificado e a outorga vai incidir efetivamente sobre a parcela criada de valor, legitimando a cobrança. A insuficiência técnica na justificativa do índice básico e justificativa para o OODC é causa frequente de contestação por parte do poder público ou privado. Outro ponto que o autor cita é a transparência do processo, vinculando o uso dos recursos a investimentos de impacto local, reduzindo resistências políticas e fazendo com que o empreendimento imobiliário seja visto como algo benéfico para a região;
c) Linkous (2016) traz para a discussão a capacidade administrativa e técnica de análise dos municípios. A cobrança, fiscalização, registros de contrapartidas e aplicação dos recursos exige um banco de dados cadastrais da infraestrutura, planta de valores e processos administrativos com ritos definidos para deliberar sobre o tema. Também a tipologia e local onde a OODC será aplicada deverá ser bem fundamentada;
d) O Compêndio Global de Políticas de Valor da Terra (OECD; Lincoln Institute of Land Policy; PKU-Lincoln Institute Center, 2022) trata da valorização da terra e a falta de uma planta de valores que calibra o preço de acordo com a demanda

pode descalibrar o instrumento, fixando valores que afugentam os investidores por valores excessivos ou atrai por pagamentos irrisórios. Sendo o uso do instrumento feito a partir de políticas habitacionais, o uso de SUDS no empreendimento e benefícios na mobilidade urbana legitimam, ao longo do tempo, os efeitos do instrumento. Dessa forma, entende que o instrumento não deve ser utilizado em todo o município mas em zonas estrategicamente escolhidas (corredores comerciais, áreas históricas a serem regeneradas) evitando o uso em área já valorizadas, otimizando as infraestruturas existentes e recuperando áreas que necessitam de regeneração.

Em movimento contrário, autores citam fatores que levam ao fracasso do instrumento, podendo ser listados:

a) Como princípio básico de um coeficiente básico mal definido (tanto para baixo como para cima), deixa de ser atraente para ambos os lados. Se o coeficiente básico já incorpora elementos de mais-valia da infraestrutura, a outorga deixa de arrecadar, reduz receita e mina o instrumento, tirando a sua credibilidade como elemento indutor de desenvolvimento urbano (Costa, 2023).
b) Relatório do Banco Mundial em parceira com o Programa Cooperativo FAO/Banco Muncial enfatiza a administração do uso do instrumento, assinalando que a falta de um cadastro, fiscalização e instrumentos de registro não fundamenta o uso do instrumento OODC e permite “facilidades e atalhos” por parte dos agentes privados e transforma a legislação pública em “letra morta”. Continua o relatório: a falta de uma planta de valores, fixação de contrapartidas com valores descolados do valor do mercado imobiliário local e até mesmo a falta de atratividade no mercado imobiliário para o setor de construção tira a efetividade do instrumento;
c) A falta de transparência na aplicação do instrumento transforma o poder público em refém do setor privado, levando a redução dos benefícios públicos. De forma complementar, a falta de coordenação entre as políticas públicas municipais – habitação, transporte, meio-ambiente – pode fazer a OODC arrecadar valores sem resolver problemas de infraestrutura urbana (Rezende *et al.*, 2009);
d) O Compêndio Global de Políticas de Valor da Terra (OECD; Lincoln Institute of Land Policy; PKU-Lincoln Institute Center, 2022) reforça sobre o local de uso do instrumento, exemplificando onde o instrumento foi utilizado em áreas já

valorizadas, resultou em concentração de benefícios e não em redistribuição social, aumentando a desigualdade social.

A análise dos estudos apresentados nos traz que a tênue linha que separa o sucesso do fracasso na utilização do instituto OODC está na qualidade da gestão pública e do planejamento urbano. Previsibilidade jurídica, índices construtivos fundamentados tecnicamente e transparência no uso dos recursos são base para atrair investimentos privados em prol do interesse coletivo. Atuando de forma contrária, a ausência de controle social e a má calibração dos valores venais dos imóveis que definiram o valor da OODC desvirtuam o instrumento, transformando-o em um gerador de litígios e segregação. Cabe ao município harmonizar as demandas do mercado com os objetivos de um desenvolvimento equitativo e sustentável.

2.3.4 Quota Ambiental – QA

A QA, considerada como ponto de inflexão no conjunto dos instrumentos urbanísticos, é um conjunto de regras de ocupação que faz com que o lote que aplica o instrumento contribua com a melhora ambiental, especialmente na retenção e infiltração de água em lotes urbanos, no controle do microclima e no aumento das áreas verdes urbanas. Introduzida no Plano Diretor Estratégico de São Paulo no ano de 2014 e regulamentada pela Lei de Uso e Ocupação do Solo em 2016, desloca o foco do controle urbano exclusivamente morfológico (TO, IA, gabarito) para um controle baseado em desempenho ambiental do lote (Caetano *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2023a).

Concebido como uma “tropicalização” do instrumento urbanístico-ambiental existente em Berlim denominado Biotopflächenfaktor (BFF) ou Fator de Superfície de Biótopo, a Quota Ambiental tira o planejamento urbano da zona de conforto no domínio da legislação urbanística e incorpora uma cunha ambiental na legislação urbanística na forma de um instrumento vinculado de caráter específico, de forma tal que ocorram e se percebam progressos ambientais sensíveis nos processos de parcelamentos de solo, de edificações e de requalificação do zoneamento urbano (Caetano, 2017).

A incorporação de parâmetros ambientais ao repertório de análise dos empreendimentos, não elimina a função morfológica dos instrumentos tradicionais, mas o complementa e reorienta, qualificando os espaços vazios do lote com o controle

de drenagem na fonte, forma de contribuição ao microclima e presença de vegetação dentro do lote, exigindo um desempenho ambiental da edificação e deslocando o foco do urbanismo baseado em índices pré-definidos para um urbanismo híbrido que permita soluções de projeto diversas e que alcancem soluções ambientais mínimos, em uma nova norma vinculante que deixa margem de escolha quanto aos métodos utilizados para atingir o mínimo do desempenho ambiental (Duarte; Brandão; Prata, 2004; Miana, 2010).

A comparação apresentada no quadro 2 dos índices urbanísticos ajuda a compreender a posição da quota ambiental frente aos parâmetros tradicionais:

Quadro 2: Instrumentos de análise de projetos urbanísticos

Instrumento	**Objeto principal da regulação**	**Lógica dominante**	**Efeito urbanístico típico**
Índice de Aproveitamento IA	Quantidade edificável	Intensidade construtiva	Adensamento e volumetria
Taxa de Ocupação TO	Projeção da edificação no lote	Cobertura do solo	Relação entre cheios e vazios
Gabaritos e recuos	Morfológica, com altura e implantação	Forma edilícia	Perfil da rua e afastamentos
Quota ambiental	Desempenho ambiental do lote	Qualificação ecológica com flexibilidade	Permeabilidade, vegetação, drenagem e infraestrutura sustentável

Fonte: o Autor (2026)

Por incorporar duas visões em um mesmo processo, a legislação da QA apresenta três requisitos: (i) simplicidade na compreensão e uso; (ii) flexibilidade por oferecer ao empreendedor diversas possibilidades para as decisões envolvidas e; (iii) embasamento teórico do ponto de vista técnico-científico. Ao empreendedor e projetistas cabe comprovar que as soluções adotadas contemplam coerência com o embasamento teórico-científico que fundamenta a legislação, justificando através de memoriais, planilhas, plantas e modelos elaborados dentro dos parâmetros definidos pela legislação (Caetano *et al.*, 2021).

Além do modelo aplicado em Berlim, o instrumento possui similares como o Green Plot Radio de Singapura, o Green Área Ratio na Alemanha e o Green and Open

Space Factor de Viena. Todos compartilham a definição do que é considerado como urbanístico-ambiental, tendo início pela substituição do termo “bens a proteger” por “objetivos ambientais” sem, necessariamente reduzir os instrumentos tradicionais do lote. Além dos instrumentos tradicionais: (i) promoção do controle de drenagem na fonte; (ii) promoção da qualidade ecossistêmica e; (iii) melhoria no microclima, pode-se acrescentar ao instrumento outras questões consideradas como prioridades ambientais dentro do município como lançamento de gases e tratamento de esgotos domésticos e industriais, por exemplo. A depender do município também pode ser proposto dados econômicos e sociais de assistência a eventos climáticos, dados de atendimento na área de saúde e educação, mobilidade urbana e outros relacionados com o cotidiano urbano (Ong, 2003; Ring; Damyanovic; Reinwald, 2021; Santos *et al.*, 2023b).

A reversão dos impactos negativos cumulativos da urbanização passa por um conjunto de ações que englobam investimentos públicos e a regulação do uso do solo pode contribuir para que ocorra a melhoria da qualidade ambiental. Assim, a QA posiciona a qualidade ambiental a partir do lote, fazendo com que o regramento atinja novas edificações, reformas ou retrofit de edificações existentes. A opção por adotar parâmetros relacionados à drenagem urbana, microclima, biodiversidade com objetivo de obter melhorias nessas áreas, não exclui novos parâmetros de usos consagrados como mobilidade urbana, segurança pública ou qualquer outro que a cidade exige uma melhoria (Caetano *et al.*, 2021; Montandon; Martins, 2024).

Nesse formato, produz ao menos três efeitos a serem analisados:

a) A QA amplia o campo de parâmetros urbanísticos ao incluir metas ambientais como objeto de aprovação de projeto (Caetano, 2017; Caetano *et al.*, 2021);
b) Define o lote como unidade de contribuição ambiental da cidade, sendo participante de metas urbanas de drenagem, biodiversidade e conforto térmico (Montandon; Martins, 2024);
c) Permite adensamento com qualidade ambiental, não sendo agendas opostas (Drumond; Almeida; Nascimento, 2023)

A QA se dá como forma de qualificar ambientalmente o processo de densificação urbana, podendo ser ligado ou utilizado como incentivo à OODC e às áreas não computáveis, não devendo ser vista como instrumento contra a transformação urbana mas como um regulatório da qualidade do ambiente construído.

Nesse sentido, ela pode ser territorializada por perímetros de qualificação ambiental, como utilizado em São Paulo, aproximando os instrumentos de taxa de ocupação, índice de aproveitamento e quota ambiental a fim de responder a atributos ecológicos do território. O argumento central é que os potenciais construtivos podem ser reordenados e até transferidos para proteção dos recursos hídricos urbanos, produzindo microáreas de qualificação ambiental em áreas muito valorizadas (Silva *et al.*, 2019; Xavier *et al.*, 2025)

Apesar da força legal do instrumento, existem limites para sua aplicabilidade, como verificado em São Paulo. A incidência restrita a lotes com área superior a 500m quadrados limita o alcance territorial da medida, sobretudo em áreas periféricas e em espaços urbanos populares, onde os lotes não atingem as dimensões exigidas. Ao depender do mercado formal e de empreendimentos de maior porte, o instrumento reproduz desigualdades na distribuição da infraestrutura sustentável, reduzindo a adesão a certos incentivos mobiliários sem garantir o necessário monitoramento pós-obra. Esses limites não anulam a relevância teórica do instrumento mas alertam sobre a necessária adaptação ao seu uso como o desenho institucional e calibragem do território, organização e capacidade administrativa e articulação entre o público-privado nas políticas públicas de urbanização (Montandon; Martins, 2024).

2.4 SISTEMA URBANO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

O crescimento populacional junto com o crescimento desordenado das cidades vem acompanhado de problemas relacionados a saneamento, sendo o mais visível a drenagem pluvial. Devido a impermeabilização do solo, aumenta a impermeabilização do solo e consequentemente, o deflúvio superficial, exigindo uma maior capacidade de escoamento das tubulações que, quando não conseguem atender, resulta em alagamentos (Cauduro; Matos, 2021).

O sistema de microdrenagem urbana, constituído por bacias locais com áreas de contribuição normalmente inferiores a 1 km² (um quilômetro quadrado ou cem hectares) contempla o dimensionamento das sarjetas, bocas de lobo, poços de visitas, tubulações e galerias que transportam as vazões das águas coletadas até os pontos de desague, que pode ser um corpo receptor naturais ou uma galeria construída de maior dimensão, que já integra o que define-se como macrodrenagem, que transportam vazões bem superiores ao dimensionamento da microdrenagem. A

macrodrenagem abrange várias microbacias que, não raro, ultrapassam os limites do município, de onde compreende-se que decisões tomadas em um município afetam os municípios a jusante (Bonavita; Fonseca, 2019).

Portanto, quando se trata em planejamento de uso do solo, a adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial é fundamental, evidenciando que as características topográficas e tipologia de solo são aliadas no controle do escoamento superficial para prevenção de alagamentos e inundações urbanas. Partindo desse entendimento, é possível e necessário o desenvolvimento de cenários urbanos municipais e regionais, visando os sistemas de micro e macrodrenagem, inclusive a conservação de corpos hídricos que ultrapassam as divisas políticas (Carvalho, 2019)

Dessa forma, em avaliações dos Plano Diretores de Desenvolvimento Urbano, a análise e possíveis impactos que a formulação de ações sobre o uso e ocupação do solo, sejam positivos ou negativos, sobre os corpos hídricos devem ser considerados não apenas com vistas a proposição de ações e medidas de compensação mas sim como questão técnica de planejamento territorial para formulação ou reformulação de ações e medidas voltadas à hidrologia que afetam o território, seja do município como da região (Carvalho, 2020).

A drenagem urbana, como ensinada tradicionalmente nos cursos de engenharia no Brasil é abordada de forma denominada higienista, que faz a coleta e o afastamento imediato das águas pluviais para jusante, causando a elevação do pico de cheias nos cursos de água, reduzindo a infiltração e intensificando o escoamento superficial, aumentando a velocidade da água e diminuindo o tempo de concentração. O crescimento da área impermeabilizada agrava a situação das cidades frente a chuvas intensas, prejudica os cidadãos e afeta diretamente a qualidade das águas com poluição difusa. Técnicos e tomadores de decisões dentro do município, utilizam-se dessa metodologia, reconhecidamente uma estratégia que não resolve os problemas a longo prazo sendo uma ação pontual que atua sobre o efeito e não sobre a causa da inundação (Cauduro; Matos, 2021; Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2020).

Na década de 1990, surge no Brasil, em sentido oposto a drenagem tradicional higienista, o Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (Sustainable Drainage Systems) - SUDS que tem por objetivo reduzir o impacto ambiental da urbanização. Adotado em diversos países desde a década de 1970, busca reproduzir o estado natural do terreno antes da impermeabilização, com o controle do escoamento

superficial da água, minimizando inundações, melhorando a qualidade do efluente gerado e promovendo a recarga do lençol freático. O sistema alia medidas estruturais com não estruturais como planejamento, zoneamento e medidas indutoras de ocupação de solo em áreas não vulneráveis compensando as consequências negativas do método higienista. O conceito de transportar as águas de forma rápida para jusante é substituído por: deter, infiltrar e percolar, transportando apenas o excedente do escoamento superficial (Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2020)

O SUDS é visto e entendido como um sistema complementar da drenagem convencional, e tem por objetivo maximizar o desempenho do sistema de drenagem, abordando aspectos hidrológicos, ambientais e sociais. Possui relação com a economia circular, considerando as águas superficiais como um bem a ser reutilizado, atuando desde a origem, transporte de destinação final do efluente, em um sistema descentralizado. (Álvarez Pérez, 2021).

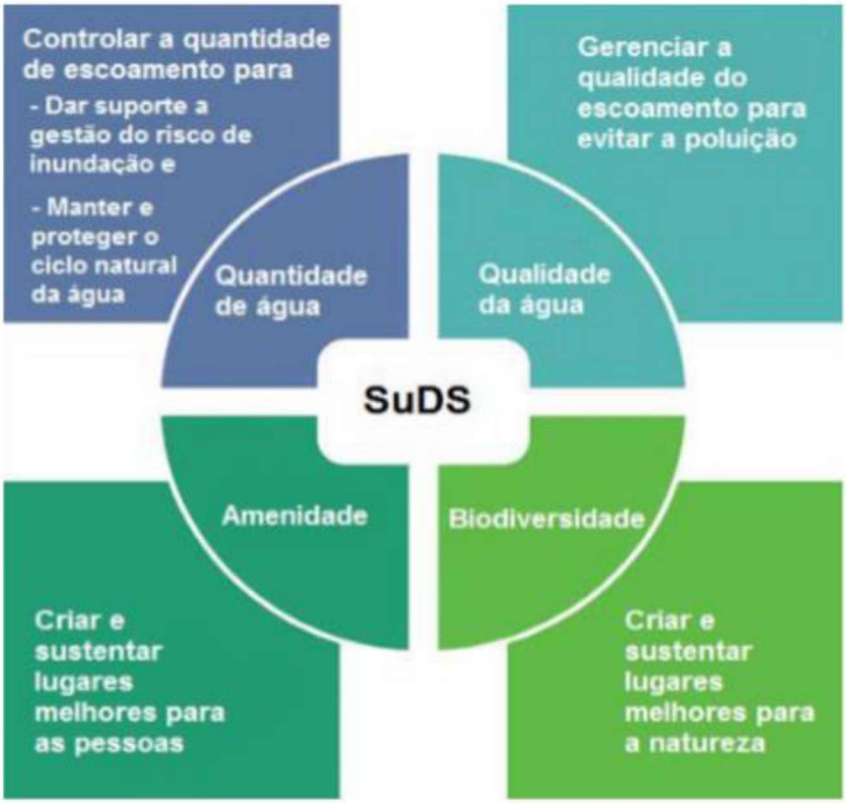
Vários conceitos levam ao mesmo resultado, sempre combinando abordagens hidrológicas, ambientais e sociais. Além de SUDS, encontramos os conceitos de Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID - Low Impact Development techniques), Melhores Práticas de Gestão (Best Management Practices – BMP), Desenho Urbano Sensível à Água (Water Sensitive Urban Design – WSUD), Soluções Baseadas na Natureza – SBN, entre outros que tem em comum a atuação na biodiversidade, valorizando o sistema de espaços livres, integrando espaços de circulação, de permanência e de caráter ambiental em um projeto multifuncional, incorporando soluções de infraestrutura e lazer para a mitigação de cheias em áreas urbanas consolidadas. Na busca da restauração do ciclo natural da água nas áreas urbanas, adota-se medidas que minimizam o impacto do desenvolvimento urbano na micro-bacia onde está inserido, influindo diretamente na quantidade e qualidade do escoamento superficial, tirando o máximo de proveito da integração do empreendimento na paisagem urbana e da sua vinculação social (Davidovitsch *et al.*, 2023).

Utilizado como referência mundial, o Manual do SUDS (2015) define os benefícios em quatro grandes grupos, referidos como os pilares da concepção dos SUDS: (i) quantidade de água; (ii) qualidade da água; (iii) amenidade e; (iv) biodiversidade.

O projetista pode se valer de diversas formas de concepção do sistema, de forma única ou combinada, forma na sua implantação e uso, acima ou abaixo do solo,

incluir vegetação ou materiais locais da região onde será implantado. Com a filosofia de: Deter, Infiltrar e Percolar também inclui como resultados “colaterais” a filtragem dos poluentes, evaporação e melhoria na qualidade das águas, sendo concebido para gerir e utilizar a água da chuva perto do local onde cai. Quando em operação, o SUDS atua no gerenciamento das águas próximo ao local do evento de chuva, diminuindo e retardando o deflúvio superficial a jusante e minimizando os danos resultantes de alagamentos e inundações.

Figura 5: Objetivos do SUDS



Fonte: Woods Ballard et al (2015)

São exemplos de S

a) Sistemas de captação de águas de chuva nos telhados e outras superfícies pavimentadas para uso no local;
b) Telhados verdes, que criam uma camada de solo no telhado para reduzir o escoamento superficial;
c) Pavimentos permeáveis que, apesar de ser uma superfície dura a ponto de ser utilizada por veículos, permite a passagem da água para o solo ou armazenamento subterrâneo;

d) Sistemas de bioretenção, acumulando a água temporariamente na superfície antes de ser filtrado pela vegetação e solo;
e) Uso de arborização que proporcionam evapotranspiração, biodiversidade sombra;
f) Valas, bacias de detenção, lagoas e zonas úmidas que retardam o fluxo de água, armazenam e tratam o escoamento e, ao mesmo tempo, drenam através do local e incentivam a biodiversidade;
g) Poços e bacias de infiltração que são eficazes no controle do escoamento e promovem a recarga dos lençóis freáticos.

A filosofia do SUDS é buscar reproduzir de forma mais fiel possível, o ciclo hidrológico natural anterior ao empreendimento instalado. Atuar de forma local para minimizar os impactos da urbanização, tanto na qualidade das águas como na quantidade a escoar. O quadro 3 resume os principais tipos de SUDS com suas respectivas funções primárias e secundárias, mostrando a diversas formas de mecanismos de infiltração, filtração, detenção e tratamento presentes nessas estruturas. Desta forma, a visualização comparativa demonstra que cada técnica possui potencialidades específicas, que permitem ao projetista selecionar combinações adequadas às condições do solo, clima, uso do solo e objetivos de desempenho do sistema (Ferreira, 2021).

Quadro 3: Tipo de SUDS e sua função

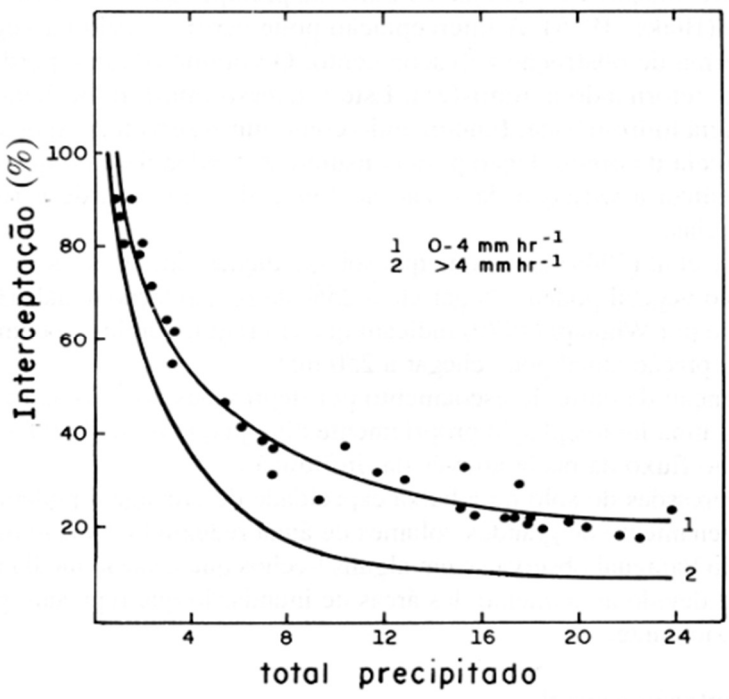
SUDS	Função primária	Função secundária
Árvores	Infiltração	Detenção
Bacias de detenção	Detenção	Infiltração
Bacias de Infiltração	Detenção	Infiltração
Drenos filtrantes	Filtração	Detenção
Jardim de chuva	Tratamento	Infiltração
Lagoas	Tratamento	Detenção
Pavimentos permeáveis	Filtração	Infiltração
Sistemas de bioretenção	Tratamento	Infiltração
Tanques de armazenamento de atenuação ou cisternas	Retenção	Detenção
Tanques reticulares	infiltração	Detenção
Telhado verde	Retenção	Detenção
Trincheira de infiltração	Infiltração	Filtração
Valas úmidas	Tratamento	Infiltração
Zonas úmidas ou banhados	Tratamento	Detenção

Fonte: o Autor (2026)

Para uma melhor compreensão, é útil fazer uma breve descrição sobre os SUDS estruturas que podem ser implantados:

- Árvores: quando incorporadas aos SUDS, influenciam diretamente os processos hidrológicos urbanos, promovendo através de sua copa a interceptação inicial da chuva, reduzindo a energia de impacto das gotas e atrasando o início do escoamento superficial. Parte da água retida retorna à atmosfera por evaporação e transpiração, diminuindo o volume destinado à drenagem superficial. O sistema radicular aumenta a condutividade hidráulica do solo, favorecendo a infiltração e reduzindo a saturação superficial. Esses mecanismos combinados atenuam picos de vazão, melhoram a recarga subterrânea e contribuem para a eficiência do manejo integrado das águas pluviais. Segundo Blake (1975 apud (Santos, 2011) em pequenos volumes de precipitação (<0,3mm), todo volume de precipitação é retido e para precipitação maiores que 1mm, de 10 a 40% pode ficar retido, o que pode ser visto na figura 2, que mostra a interceptação para diferentes tipos de intensidades, processo esse que é afetado diretamente pelas características da precipitação, pelas condições climáticas, características da vegetação e época do ano (Moura *et al.*, 2009) ;

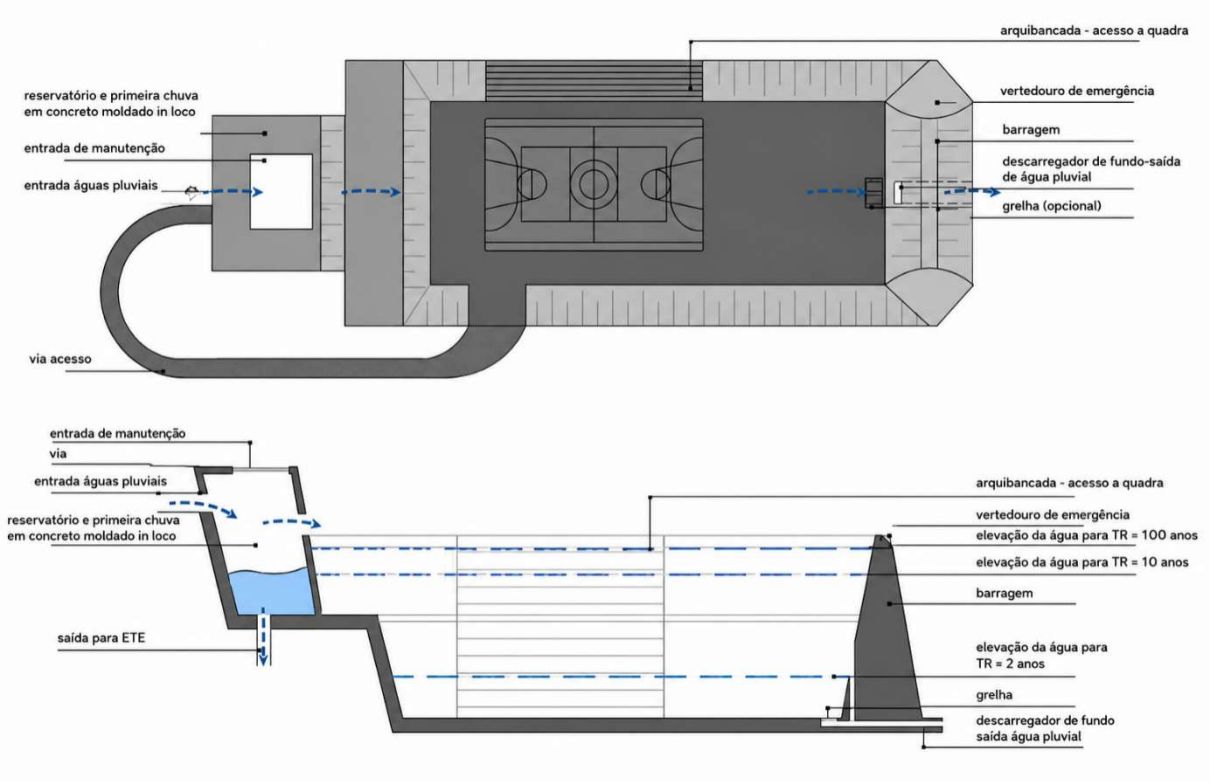
Figura 6: Relação entre interceptação-intensidade-precipitação



Fonte: Blake (1975)

- Bacia de detenção: estrutura projetada para armazenar de forma temporária e curto período, o escoamento pluvial durante e após eventos de chuva, liberando o escoamento de forma controlada de forma a eliminar picos de vazão na rede de drenagem. Não mantém lâmina de água, permanecendo seca e entrando em operação somente quando há precipitação significativa. O funcionamento é baseado na capacidade do seu volume de armazenamento e no controle da descarga por orifícios e vertedouros, amortecendo o volume escoado a jusante de forma a mitigar inundações urbanas. Não reduz o volume do escoamento direto, fazendo a redistribuição das vazões em um período maior de tempo. Utilizada para controle de vazão máxima, controle de volume ou ainda para controle de material sólido, pode ser criada através do barramento de um curso d'água ou escavando uma bacia no solo. Uma terceira hipótese de construção é uma combinação entre construção de barramento e escavação. Permite soluções integradas ao planejamento urbano, proporcionando a configuração de parques com quadras esportivas rebaixadas, possibilitando o uso em períodos secos e, em períodos de chuvas intensas, cumprem a função de armazenar temporariamente o volume de cheia (Battemarco *et al.*, 2018);

Figura 7: Esquema da bacia de detenção com fins esportivos



Fonte: Mota (2013)

- Bacia de infiltração: como as bacias de detenção, armazenam temporariamente as águas de chuva, mas com a função de infiltrar diretamente no solo, reproduzindo o comportamento natural da bacia hidrográfica antes da urbanização. Não possui a função de controlar a vazão de saída mas de reduzir o volume a ser escoado, contribuindo para a recarga do aquífero. Seu funcionamento exige um solo com boa permeabilidade, no controle de sedimentos na entrada e cuidados para a não colmatação do fundo da bacia, que pode ser plantada ou preenchida com material granular. Integra-se com facilidade no paisagismo urbano, melhora a qualidade da água por filtração e é um eficiente dispositivo no manejo sustentável das águas pluviais, reduzindo o volume médio anual de escoamento superficial (Reis; Ilha; Teixeira, 2013).

- Drenos filtrantes: estruturas subterrâneas constituídas por valas preenchidas por material granular envolto em tecido geotêxtil, com a função de coletar, conduzir e drenar as águas subterrâneas ou pluviais, favorecendo a redução de níveis freáticos ou do acúmulo de água em sub-superfície. Tem a função de eliminar excedentes hídricos indesejados no terreno, melhorando suas condições geotécnicas e de estabilidade. Visto comumente ao longo de estradas, é uma solução voltada principalmente para a filtração e condução controlada do escoamento superficial ou subsuperficial, se inserindo no conjunto de técnicas que reduzem a carga poluidora carreada junto com as águas de chuva, diminuem os picos de vazão e promove a infiltração gradual das águas no solo, desde que o solo permita. Em períodos de seca, cumprem a função de filtrar matérias poluentes carreadas pelas águas de chuva para os cursos d'água, comprometendo a qualidade e saúde dos ecossistemas. Pelo uso de tubo drenante, é uma opção para áreas urbanas onde a infiltração é de forma lenta, substituindo as trincheiras de infiltração (Cardoso; Poleto, 2024);

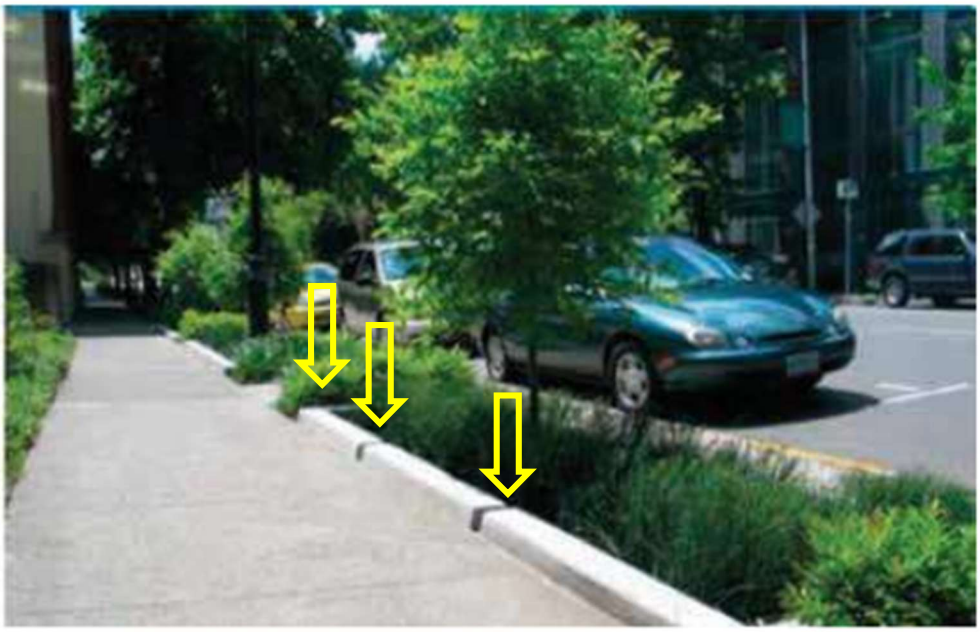
- Jardins de chuva: definido como sistema de bioretenção, são depressões rasas em relação ao entorno, vegetadas com a função de captar, reter e infiltrar o escoamento superficial. Na figura 8, o encontro entre a pista e o canteiro, indicado com uma faixa amarela, não possui diferença de nível, encaminhando as águas coletadas diretamente para o canteiro. Da mesma forma, no passeio não existe o anteparo elevado entre o canteiro e a calçada. Na figura 9, a existência do anteparo entre o passeio o canteiro exige a abertura para a passagem de água, indicadas por setas, da calçada para o jardim de chuva. Durante eventos de precipitação, ocorre o acúmulo temporário no leito do jardim, onde as águas de chuvas são filtradas pelo

solo estruturado, removendo os poluentes por processos biológicos e a vegetação promove a evapotranspiração. O solo é preparado para aumentar a infiltração e as plantas devem ser resistentes à saturação, de forma que contribuem para a estabilização, absorção de nutrientes e na melhora da qualidade da água infiltrada. A vegetação, pode ser de diferentes espécies e tamanhos e é componente fundamental nesse tipo de sistema, devendo ser considerado desde o sistema radicular tanto a resistência a períodos secos como excesso de precipitação. Da mesma forma que as árvores, os jardins de chuva reduzem o pico de vazão e, na ampliação das áreas verdes, mitigam ilhas de calor, combinando funções hidrológicas com paisagísticas (Battemarco *et al.*, 2018).

Figura 8: Jardim de chuva na via pública

Fonte: Battemarco *et al.*, (2018)

Figura 9: Jardim de chuva no passeio público



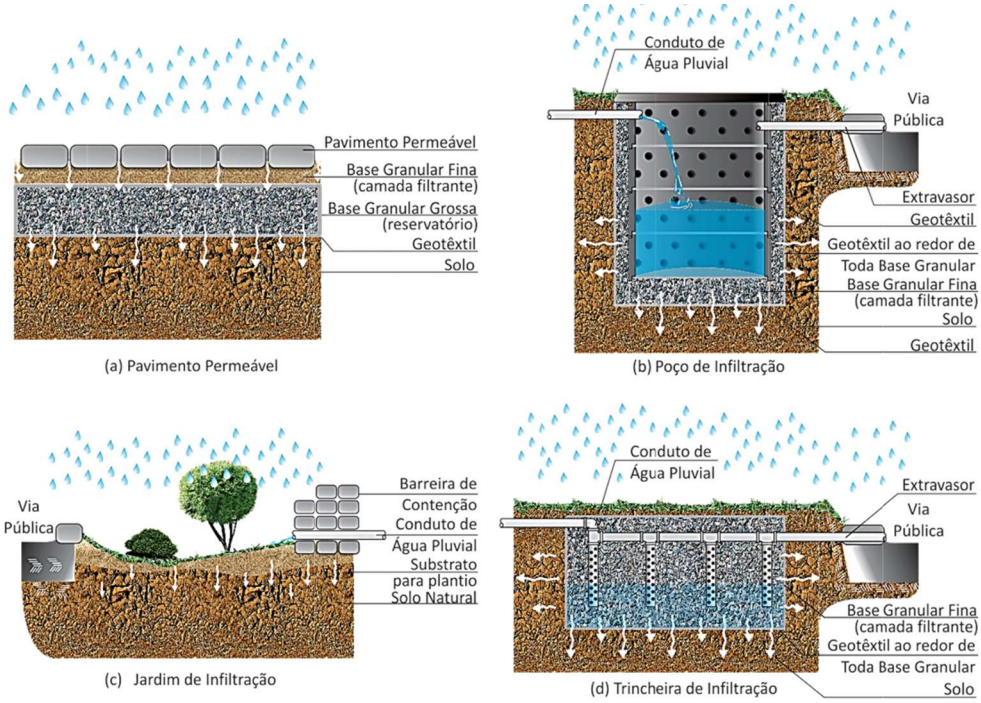
Fonte: Battemarco *et al.*, (2018)

- Lagoas: sejam artificiais ou naturais, atuam como reservatórios de detenção ou retenção no escoamento das águas de chuva. Quando na função de retenção, onde mantém uma lâmina permanente de água, promove a decantação, sedimentação e degradação biológica, melhorando a qualidade da água. Quando possível a sua existência, a vegetação aquática, em conjunto com a vegetação das margens contribuem para a remoção de nutrientes, além de estabilizar as margens e promover a evapotranspiração. Além da função na hidrologia, tem muito a contribuir no paisagismo como elemento recreativo devido ao seu potencial de criação de espaços públicos de lazer e integração comunitária. Apresenta limitações em áreas íngremes e podem não ser adequadas em locais densamente povoadas (Viana *et al.*, 2024);

- Trincheiras de infiltração: são estruturas lineares escavadas no solo e preenchidas com material granular envolto em tecido geotêxtil, são projetadas para armazenar temporariamente e infiltrar o escoamento superficial. Os espaços vazios entre os materiais granulares cria um volume de detenção, retendo e posteriormente percolando de forma lenta e gradual para o subsolo, contribuindo para a recarga subterrânea. O envoltório em tecido geotêxtil impede o carreamento de finos, mantendo a permeabilidade interna da trincheira e melhorando a qualidade da água

infiltrada. Por serem dispositivos subterrâneos, integram-se facilmente ao tecido urbano, funcionando como elementos discretos e de alta eficiência dentro dos SUDS. A figura 10 mostra exemplos de técnicas de infiltração, adaptáveis conforme espaço, tipos de solo ou paisagismo.

Figura 10: SUDS com técnicas de infiltração



Fonte: Reis; Ilha; Teixeira (2013)

- Zonas de biorretenção: dispositivos com múltiplas funções atua da mesma forma que os jardins de chuva, mas possuem uma camada mais espessa de meios filtrantes e é utilizada para escoamentos com elevados níveis de poluentes. É constituído por camada filtrante de solo estruturado, material granular, drenos inferiores e vegetação, tendo como objetivo a retenção temporária do escoamento superficial, filtrando, infiltrando e tratando os líquidos antes de sua descarga no solo ou na rede de drenagem. Além disso, a vegetação tem papel importante na evapotranspiração, na estabilização do solo e na degradação biológica de contaminantes. Deve-se ressaltar que as funções que o jardim de chuva e a zona de bioretenção cumprem acontecem de maneira concomitante, não sendo possível a dissociação entre elas. Uma deixando de funcionar, o sistema entra em colapso. De

forma idêntica ao jardim de chuva, atua na redução de pico de vazão e aumenta a recarga subterrânea, integrando o paisagismo na drenagem urbana (Pereira *et al.*, 2021);

- Zonas úmidas ou banhados: são áreas construídas com o objetivo de armazenar, tratar e regular o escoamento pluvial por meio de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem em ambientes alagáveis. São lâminas de água rasas, com vegetação hidrófila e com substratos filtrantes e nível de água controlado, reproduz o funcionamento de banhados naturais. Retendo o escoamento superficial, permite a decantação de sólidos e a assimilação de nutrientes pela vegetação, e a filtração no solo saturado. Propicia o aumento no tempo de detenção, reduz picos de vazão e proporciona uma estabilidade no escoamento a jusante. A depender da sua extensão, pode proporcionar o surgimento de um microclima e promover a integração da drenagem urbana com o paisagismo;

- Tanques de armazenamento de atenuação ou cisternas: diferente dos dispositivos anteriores, não é um dispositivo natural mas construído em concreto, polietileno ou outros materiais que permitam a manutenção e, se necessário, a ampliação do volume a ser armazenado. Posicionados em locais densamente ocupados e onde não existem áreas disponíveis para um reservatório a céu aberto, são reservatórios de controle de cheias dentro do contexto do SUDS, acumulando as águas durante os eventos de chuva e liberando de forma lenta e controlada para a rede pública, reduzindo picos de vazão e não gerando sobrecargas na rede de drenagem construída. Por serem enterrados, o controle de liberação da vazão se dá com a utilização de sistema de bombeamento após o período de chuva. Quando construído de forma isolada, não propicia a melhora na qualidade das águas mas é uma estrutura adaptável ao ambiente construído, podendo compor soluções de drenagem sustentável com a utilização do espaço para atividades públicas. A figura 11 mostra o interior de uma bacia de retenção fechada, que pode ser utilizada quando em período seco mas podendo ocorrer riscos em precipitações onde ocorre o enchimento rápido da estrutura. (Almeida, 2020; Penna *et al.*, 2019).

Figura 11: Vista interna de uma bacia de retenção enterrada

Fonte: Almeida (2020)

Como se vê, os sistemas cumprem dupla função e são reconhecidos pela capacidade de, simultaneamente, melhorar a qualidade das águas lançadas a jusante e diminuir/retardar a quantidade de água a escoar, retardando o pico de vazão. De forma complementar, como resultados colaterais, incrementa a biodiversidade, promove integração com a paisagem urbana e, dependendo da sua extensão, atenua ilhas de calor, fatores esses que influenciam na multifuncionalidade do espaço urbano e contribuem com valores sociais e ambientais. Atuando de forma única ou ampliada, cada caso é único e a recomendação é utilizar o SUDS em conjunto com soluções convencionais, de forma a obter o máximo das vantagens técnicas que os sistemas oferecem.

Trabalhos científicos sobre drenagem urbana, sustentável ou não, trazem um conjunto consistente de evidências que destacam o potencial das soluções adotadas e, em menor número, das dificuldades para sua implantação. O quadro 4 resume autores nacionais e estrangeiros que tratam o tema, organizando os benefícios e limitações apontadas para o seu uso, relacionadas principalmente a legislações, restrições técnicas, custos financeiros e dificuldade de manutenção. A apresentação desses resultados como a aplicação do SUDS avança de forma gradual, sempre condicionada às especificidades locais e à capacidade de gestão das cidades, o que

reforça a necessidade de políticas públicas que elaborem normativas, práticas de planejamento que permitam a efetiva construção e uma rotina de manutenção.

Quadro 4: Comparativo dos SUDS

Autores	País	Prós (benefícios)	Contras (limitações)
Ferreira (2021)	Brasil	Redução de vazões; controle de vazão; mitigação de eventos de chuvas intensas.	Falta de regulamentação; adoção limitada pelos municípios.
Souza (2013)	Brasil	Integração entre drenagem e planejamento urbano; potencial para sustentabilidade hídrica.	Parâmetros técnicos insuficientes; manuais desatualizados.
Gonçalves; Nucci (2017)	Brasil	Infiltração, redução do escoamento superficial, ganhos paisagísticos.	Custos iniciais elevados; pouca disponibilidade de espaço urbano.
Vasconcelos; Nóbrega Dos Santos; Paceli Barbassa (2023)	Brasil	Benefícios ambientais e sociais; aumento da resiliência urbana.	Barreiras institucionais; falta de capacitação técnica.
Cardoso; Poleto, (2024)	Brasil	Remediação de poluentes; melhoria da qualidade de água.	Necessidade de manutenção intensiva, dependência das condições locais.
Oliveira *et al.*, (2025)	Brasil	Redução comprovada do escoamento superficial urbano.	Custos elevados e necessidade de monitoramento constante.
Zhou (2014)	China	Melhora na qualidade da água, reduz enchentes e se adapta bem às mudanças climáticas.	Efetividade reduzida em solos pouco permeáveis e em megacidades densas.
Charlesworth (2003)	Reino Unido	Técnicas simples, multifuncionais e com bom desempenho em áreas urbanas densas.	Risco de colmatação e baixa eficiência sem manutenção contínua.

continua

continuação

Fletcher (2015)	Austrália	Melhora na resiliência urbana, reduz poluição difusa e integra paisagem e drenagem.	Falta de padronização, desempenho variável conforma clima e solo.
Dietz (2007)	Estados Unidos	Reduz significativamente as cargas de poluentes e melhra a infiltração urbana.	Alto custo inicial; necessidade de capacitação das equipes municipais.
Walsh (2016)	Austrália	Abordagem sensível à água restaura funções ecológicas e reduz impactos hidrológicos urbanos.	Baixa eficiência se não implementado em escala de bacia; dependência de politicas públicas.

Fonte: o autor (2025)

A análise das contribuições apresentadas pelos autores mostra que as dificuldades no Brasil são idênticas as que se apresentam no mundo, expondo o tamanho do desafio a ser vencido, com barreiras jurídicas, financeiras, sociais e ambientais. Autores de diferentes formações colocam os prós sempre na mesma linha de raciocínio, enfatizando aspectos construtivos, desempenho hidráulico, durabilidade dos sistemas, integração à paisagem urbana, multifunções e estratégia na gestão territorial.

Do mesmo olhar, apresenta-se as dificuldades – falta de regulamentação, manutenção periódica para manter as funções projetadas, estudos prévios de solo e demandas de projeto, capacitação dos responsáveis pelas manutenções periódicas – não são decorrentes das fragilidades da metodologia mas da complexidade do sistema quando da sua implementação. O uso de SUDS como política pública ou até mesmo em situações isoladas requer equipes multidisciplinares que articulem conhecimentos de hidrologia, geotecnia, ecologia, infraestrutura urbana e construções com soluções voltadas à natureza, de forma a assegurar a eficiência do sistema.

2.5 INTEGRAÇÃO BIM-GIS NA GESTÃO MUNICIPAL

A digitalização nos processos de planejamento e organização da arquitetura, engenharia e construção (AEC) vem sendo explorada em suas múltiplas funcionalidades e a interoperabilidade entre as plataformas utilizadas são cruciais para conectar planejamento, tecnologia na execução, design e pessoas, fundindo todas as atividades numa abordagem inovadora que inspira o futuro da arquitetura urbana, ainda que a principal dificuldade na expansão do uso das novas metodologias e tecnologias é a padronização dos dados. (Lu, 2017).

Novos nomes e siglas passam a fazer parte da atividade de planejar e gerenciar o espaço urbano como Sensoriamento Remoto (SR), Sistemas de Informação Geográfica (GIS), Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), Modelagem 3D, Dados, Sistemas de Suporte à Decisão (SSD), Realidade Virtual/Aumentada (RV/RA), Mídias Sociais e Desenho Assistido por Computador (CAD) e são partes integrante e consolidado no processo de planejamento enquanto outras, mais vinculadas à modelagem 3D e Inteligência Artificial estão em rápida evolução e com crescimento dinâmico e acelerado, expandindo suas aplicações diretas. Essa simbiose de ferramentas necessita de dados para sua exploração e resulta em novos dados para realimentar o sistema, estando em um processo contínuo de evolução (Dreksler *et al.*, 2025).

O desafio apresentado aos gestores é a construção de cenários para o desenvolvimento urbano e aumento ou revitalização da atividade econômica, sempre referenciado com a sustentabilidade ambiental. Esse caminho segue uma lógica que pode ser estabelecida da seguinte maneira: (i) GIS; (ii) BIM; (iii) projeto de cenários; (iv) planejamento urbano e estudos de viabilidade; (v) reciclagem do espaço urbano; (vi) gestão de dados e TIC (Pettoello; Stendardo, 2019).

Planejar o urbano é equilibrar as necessidades atuais com as demandas futuras que chegam em maior quantidade e em maior grau de dificuldade de resolução. Questões como inclusão, ser funcional e sustentável é o desafio a ser vencido e a integração BIM-GIS são ferramentas poderosas, com poder de vincular dados com o ambiente construído e conectar com legislação pertinente ao planejamento urbano. Enquanto o GIS fornece o levantamento local, possibilita análise e avaliação do impacto local do empreendimento e gerenciamento do inventário de ativos, o BIM entrega modelos e seus custos, visualiza projetos antes de sua execução e antecipa

falhas construtivas, possibilitando revisões de projeto antes do início do empreendimento, reduzindo custos e aumentando a eficiência (El-Beheiry, 2025; Kang, 2023).

As tomadas de decisões na gestão pública deveriam se basear numa estrutura de informações (humanas, técnicas e financeiras) dando segurança na implementação de políticas de desenvolvimento. Vendo a cidade como um conjunto de dados geoespaciais atualizados, o gestor tem sob seu olhar vários aspectos que fazem parte de sua cidade e que são conhecidas de forma empírica pelos entes políticos: saúde, infraestrutura, desastres, segurança, proteção ambiental, educação, cultura, lazer, entretenimento. O GIS é a abordagem moderna de reunir esses dados em um mapa de forma a aprimorar a tomada de decisões. O melhor gestor ou, a melhor gestão será de quem ter a capacidade de gerenciar, correlacionar, prever e disseminar as informações em GIS e o transformar em instrumento de análise (Pereira; Prokopiuk, 2025).

Portanto, o GIS é essencial na aplicação de informações espaciais, possibilitando um planejamento digital para a paisagem urbana e embasando políticas públicas a partir das necessidades visualizadas, promovendo o desenvolvimento com vistas a um ambiente construído inteligente. O GIS possibilita um sistema 3D que inclui o espaço subterrâneo, integrando informações digitais da infraestrutura como redes de água, drenagem, camadas de solo, linhas de transmissão de energia elétrica, uso e ocupação do solo, transformando imagem em dados coletados que possibilita a criação de modelos (Pichaimani; Manjula, 2016; Zeng; Peng, 2022).

A BIM, inicialmente voltado para edificações e visto inicialmente por leigos como um 3D com maior definição dos elementos, trouxe a modelagem e seu enorme potencial para planejamento na área da engenharia e arquitetura, com resultados na construção. A BIM é um modelo 3D que inclui informações espaciais gráficas e não gráficas que auxiliam no projeto, construção e no gerenciamento dos ciclos de vida dos elementos construídos. Com a modelagem é possível representar o espaço construído e sua morfologia, visualizar monumentos, edifícios e, entendendo o crescimento da cidade a partir da visualização de imagens ao longo do tempo, pode-se criar cenários e prever as possibilidades lógicas da expansão urbana (Barrile *et al.*, 2024; Costantino; Grimaldi; Pepe, 2022; Gupta *et al.*, 2016; Pelden *et al.*, [*s. d.*]).

Os modelos de construção em 3D podem ser utilizados para diferentes finalidades no planejamento urbano. Além da visualização do ambiente construído, a

reconstrução de ambientes utilizando-se da computação gráfica, fotogrametria e sensoriamento remoto são proposições que possibilitam a elaboração de modelos de construção 3D, transformando as imagens em polígonos que permitem análises, que serão a base de um banco de dados de informação que possibilitam o uso da metodologia BIM em sua plenitude. Sem o banco de dados, teremos apenas o modelo 3D, sem nenhuma informação, portanto, uma fotografia que não servirá para o planejamento urbano (Sugihara, 2019).

Por dificuldades técnicas e operacionais, a integração ainda é distante na realidade dos municípios. A BIM está no centro da construção dos edifícios e o GIS nos dados espaciais. A falta de especialistas prejudica a formação e/ou a eficácia funcional. O treinamento em software não habilita a competência na integração que resultará na melhoria da sustentabilidade urbana, na racionalização e gerenciamento dos recursos que conduzem para uma melhor governança visando uma cidade inteligente. Podemos dizer que estamos na infância do processo de interação BIM-GIS e o treinamento funcional é fundamental para entendermos o potencial de alavancagem de desenvolvimento urbano que essa metodologia pode apresentar (Šamanović *et al.*, 2024).

A metodologia BIM para uso em loteamentos, condomínios verticais e horizontais é realidade. O setor da construção se beneficia da adoção da metodologia da informação para melhorar a eficiência na construção do produto, sustentabilidade da empresa e final do produto e na redução de custos em todas as etapas, inclusive na operação do produto. Apesar da falta de padrões e práticas efetivas que ajudariam a adotar a BIM em práticas diárias, as empresas tendem a adotar a metodologia. Existe a concordância entre autores que o melhoria dos espaços construídos, públicos ou não, passa pelo planejamento tanto espacial como estratégico, mas para problemas específicos, o planejamento deve ser melhor detalhado. E esse detalhamento é facilitado com o uso da metodologia BIM (Liu *et al.*, 2024; Teichmann *et al.*, 2024).

Se a metodologia BIM é capaz de simular o desempenho de uma edificação como estrutura isolada, ao integrar em um aplicativo BIM-GIS passa a oferecer soluções ambientais onde a edificação está ou será inserida, melhorando a sustentabilidade e a resiliência da edificação e do seu entorno, permitindo uma avaliação abrangente sobre os impactos resultantes da nova edificação. Verificando a densificação urbana, o mapeamento do novo sobre o existente possibilita uma

análise sobre os impactos sobre a infraestrutura, riscos de inundações, mobilidade urbana, energia, formação ou ampliação de ilha de calor, fontes de ruído além de várias possibilidades a partir da formação ou área de estudo. Os prejuízos ambientais previstos na modelagem direcionarão condicionantes para a realização do mesmo (Asfandyar *et al.*, 2025; Deng; Cheng; Anumba, 2016).

Um dos principais desafios é a falta de um padrão comum para o compartilhamento de informações. Por ser um setor altamente fragmentado, o processo anda mais rápido no mundo digital do que os resultados na vida real e discutir uma forma de alinhar os passos é o desafio. A concepção de protocolos complexos e seus dados por parte da administração pública, como elaborar diagnósticos e prever funcionamentos através de modelos criados pelo setor privado e analisados pelos técnicos do município são os desafios a serem transpostos de forma a contribuir para aumentar a segurança em todos os níveis, sustentabilidade, disparidade social e econômica (Redondo, 2023).

Entendendo a resiliência como fator a ser incluído no planejamento urbano construído e cidade inteligente como objetivo, as tomadas de decisões sobre dados tornam-se mais relevantes e obrigatória e a interação/integração do BIM-GIS são vistos como vetores-chaves. Para isso, a captura do ambiente construída por ferramentas de sensoriamento remoto como Detecção e Alcance por Imagem a Laser (LIDAR), se utiliza de pulsos de laser para mapear superfícies e objetos com alta precisão, reconstruindo a geometria do ambiente de modelagem sobre um sistema GIS. Para isso, deve-se entender que o BIM além do 3D que fornece os elementos do planejamento arquitetônico, incorpora outras dimensões como planejamento (4D), orçamentação (5D), Sustentabilidade (6D) e Gestão e Manutenção (7D), concentrando e compartilhando informações capazes de otimizar a comunicação durante o ciclo de vida do construído ou o gerenciamento da infraestrutura de um bairro, cidade ou região. A interação BIM-GIS cria modelos virtuais, base para se buscar o título de cidade inteligente (Fernández-Alvarado; Fernández-Rodríguez, 2022; Gnädinger; Roth, 2021).

O resultado mais básico dessa interação BIM-GIS é o espaço construído visto de forma tridimensional, apresentando os recursos naturais e construídos de forma eficiente, possibilitando aos técnicos planejar a expansão territorial horizontal e vertical e ao cidadão visualizar os resultados da proposta elaborada. O levantamento dos espaços públicos e sua ocupação traz uma melhora de eficiência na gestão e

operação, resolvendo inúmeros problemas do espaço urbano, que podem se apresentar a nível de subterrâneo, solo ou acima deste. A ocupação do espaço urbano, a forma como aconteceu e se materializou é um problema de primeira grandeza e a visualização de forma tridimensional, é ferramenta a ser adotada na busca de solução (Ying *et al.*, 2021).

As possibilidades de uso BIM-GIS caminham na direção e sentido escolhido pelo pesquisador. Alguns municípios disponibilizam em suas páginas oficiais mapas interativos em portais de geociências, baseados em imagens de alta resolução que tornam possível a visualização dos dados principais do lote como seu número de cadastro, área do lote, número de matrícula e índices construtivos. São dados disponibilizados de forma gratuita, em aplicativos intuitivos e que permitem o acesso dos cidadãos a informações técnicas que antes eram disponibilizadas apenas para os técnicos. Essa disponibilização vai de encontro aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) onde as metas para cidades e comunidades sustentáveis e inteligentes (ODS 11) e fortalecimento de instituições inclusivas e transparentes (ODS 16) é condição a colaboração ativa entre cidadãos e governantes. E é nesse contexto que lança a questão: como as tecnologias emergentes aliadas a metodologias participativas promovem uma efetiva inclusão e participação ativa dos cidadãos, transformando o planejamento urbano e ambiental em um ato participativo de baixo para cima e não uma imposição de cima para baixo? (Berigüete; Santos; Rodriguez Cantalapiedra, 2024).

A gestão territorial dentro da literatura clássica, está centrada em um Cadastro Técnico Multifinalitário-CTM como fonte de referência para implementação dos instrumentos do Estatuto da Cidade. O portal de geociências é uma evolução conceitual, acrescentando a possibilidade de três dimensões ao tradicional sistema de informações em parcelas. De forma comparativa, o quadro 5 apresenta a evolução do sistema cadastral:

Quadro 5: Comparativo CTM x Portal de Geociências

Dimensão	CTM tradicional	Portal de Geociências
Acesso	Restrito a técnicos autorizados	Público, universal, 7 dias/semana, 24 horas/dia

continua

continuação

Formato	Bases de dados internos	WEBGIS interativo + downloads em formato aberto e multiplo
Usuário-alvo	Gestor público	Gestor + cidadão + pesquisador + estudante
Transparência	Limitada – apresentação de dados após autorização	Plena e imediata
Atualização	Dependente de processos internos	Dinâmica, com servidores de dados espaciais conectáveis
Escalabilidade	Dependente de infraestrutura de TI própria	Baseada em plataformas gratuitas (QGIS, google sites..)

Fonte: O Autor (2026)

Visualizando a cidade de forma tridimensional, uma das questões que pode ser analisada é a distribuição e o uso de energia elétrica urbana, necessária para manutenção e ampliação do espaço construído. A criação de métricas do consumo de energia a partir da tipologia de uso da edificação, o balanceamento das redes de alimentação e a possibilidade de microgeração de energia elétrica oferece uma visão holística da gestão do abastecimento da energia para a edificação dentro de um contexto urbano, não como elemento isolado, alertando para as necessidades de adequação quando do uso da edificação de forma intensiva. Da mesma forma, estudo da formação de ilhas de calor, a posição e orientação do prédio, tipologia de materiais de fachada elevam ou diminuem o consumo de energia e auxiliam no planejamento da expansão vertical na região. A disponibilização e troca de informações entre a administração pública e o setor privado é uma parceria-público-privada informal, onde o compartilhamento de dados é primordial para o desenvolvimento sustentável do condomínio, do bairro ou da cidade (Barrile; Genovese; Favasuli, 2023; Dawood *et al.*, 2017).

Permanecendo na área de fornecimento de energia, o estudo de novas edificações e retrofit de regiões urbanizadas através do ciclo de vida das edificações também pode ser estudada através da metodologia BIM em conjunto com o GIS, gerando benefícios ambientais. A possibilidade de recuperação de uma edificação frente a demolição e reconstrução com seus ônus ambientais sob o ponto de vista energético. Novas tecnologias na geração de energia elétrica, sistemas de

aquecimento e resfriamento de ambientes, orientação solar das aberturas, materiais de construção utilizado dentro de um ciclo de vida do edifício monta uma estrutura de análise que demonstra o potencial de tratar os ônus ambientais e suas formas de mitigações, em um outro viés de trajetória para atingir um desenvolvimento urbano sustentável (Li; Feng, 2025).

E se o assunto é acessibilidade pedonal urbana visando melhorias na mobilidade urbana, estudos de tráfego de veículos, condições da infraestrutura e comportamento de caminhada dos pedestres devem ser estudados antes da tomada de decisões que resultem em mudanças no cotidiano das pessoas e empresas. Sobre o modelo digital construído com o uso do LIDAR e utilizando-se de câmeras de circuito fechado de televisão (CCTV) estrategicamente posicionadas para segurança patrimonial, é possível a contagem de pedestres, horários de maior fluxo, dinâmica da caminhabilidade e os impactos de um congestionamento, apesar de não ser efetivo em verificar em tempo real. Cruzando dados de uso e ocupação do solo, horários de pico de trânsito de veículos e pedestres, condições da infraestrutura (rua e calçada) e número de acidentes de trânsito, uma política pública de mobilidade urbana adequada para a região pode ser elaborada e, expandindo para a segurança pública, os dados podem ser cruzados com os de boletim de ocorrência registrados na polícia civil da região (Qiu *et al.*, 2022; Wang; Wong; Cheng, 2025).

Da mesma forma, o uso de circuito fechado de televisão (CCTV) permite a análise do comportamento da população frente ao design ambiental criado no BIM-GIS, o que pode ser analisado pelos responsáveis pela segurança nos ambientes públicos e na criação de protocolos de combate ao crime ou apresentando argumentos para melhorias no espaço construído (Ceccato, 2019).

O GIS permite análises de características topográficas através da Modelagem Digital de Elevação (DEM) que, em conjunto com a hidrologia permite um estudo detalhado da bacia hidrográfica e redes de drenagem. A impermeabilização no uso do solo e sua influência nos casos de aumento nos alagamentos, projetos e custos de construção de infraestrutura em áreas sensíveis a inundações e alagamentos que servem a uma população que ocupa uma área de risco, modelagem de eventos climáticos extremos e estimativa de prejuízos são exemplos de análises da DEM e BIM que estão a disposição dos tomadores de decisão do planejamento urbano e as consequências das decisões tomadas podem ser mensuradas de forma antecipada (Lyu *et al.*, 2016).

Para que a metodologia BIM, voltada para a indústria da construção e o cadastro municipal 3D atuem em conjunto é necessária uma interoperabilidade entre os diversos formatos possíveis no mercado. São diferentes softwares utilizados e a compatibilização entre os modelos para ser utilizada de forma conjunta é necessária e obrigatória. Na esfera técnica, formatos abertos como IFC e CityGML são utilizados para que essa compatibilidade aconteça. Com isso, levantamentos feitos por scanner aliados ao GIS poderão ser utilizados em conjunto com os projetos elaborados, integrando o digital do paisagismo urbano com o planejamento territorial, facilitando as análises ambientais e sustentando a transição para um modelo urbano sustentável (Piras; Muzi; Zylka, 2024).

A interoperabilidade dos dados permite a criação de uma métrica para um bairro ou cidade com indicadores de metas, permitirão o monitoramento do ambiente e desenvolvimento de modelos com um nível de adequação que permitirão a análise dos efeitos do novo empreendimento a ser construído ou instalado de forma virtual. É o chamado gêmeo digital inteligente, capaz de realização de testes digitais que irão impor condições e restrições para a sua implantação, em todas as suas etapas de ciclo de vida. Da mesma forma, durante o ciclo de vida da edificação ou empreendimento, o necessário feedback permite a atualização das métricas, proporcionando a criação de novos condicionantes para novos empreendimentos ou ampliação dos existentes. Cabe ao município impor o nível de detalhe a ser apresentado para ser analisado entendendo que, quanto mais básico foi o detalhamento, mais raso será o resultado. Necessário entender que, ao município cabe um nível de detalhamento macro, onde o nível de detalhamento interno da edificação não interessa para análise ambiental do bairro, mas sim ao usuário da edificação. Interessa para o modelo macro o sombreamento da edificação, a sobrecarga da infraestrutura aparente ou não, fluxo de tráfego de pedestres e veículos entre outros elementos que o gêmeo digital do bairro vai condicionar. A solução de um bairro não será naturalmente transposta para outro bairro (Ryzhakova *et al.*, 2022; Saran *et al.*, 2018).

Estudos relacionados a múltiplos riscos em uma região é uma demanda a ser explorada e vencida, encontrando dificuldades operacionais na área pública (pessoal e infraestrutura física) e gestão colaborativa entre o público e privado. O modelo de informações da cidade (CIM) é resultado da integração BIM-GIS e, no momento, é o formato ideal para análise das mais variadas situações. Simulações para situações

isoladas são encontradas e, se não se apresentam em BIM, caminham nessa direção e incorporadores estão utilizando essas ferramentas para seu uso privado, desenvolvendo os projetos de forma integrada dentro dos limites do seu empreendimento. O público, se contenta em receber os projetos em formato 2D e alguns elementos do licenciamento em formato GIS, mas sem integração com algum sistema compartilhado com o município. Não se verifica um movimento na elaboração de um fluxo de trabalho onde a análise de informações integradas em formato BIM seja feito, podendo avaliar o empreendimento dentro do bairro ou município em uma forma mais integrada (Lu *et al.*, 2020; Noardo *et al.*, 2020; Xia *et al.*, 2022).

Trabalhando no sentido de integração BIM-GIS e numa análise integrada entre o ente público e privado, é possível a criação de um ambiente virtual, onde é possível avaliar o empreendimento a ser construído ou implantado e captar as reações do usuário vivenciando o espaço público de forma antecipada, feita em realidade aumentada. Essa abordagem centrada nas experiências, percepções e necessidades do indivíduo dentro em um ambiente virtual e analisado por algoritmos, podem influenciar nas tomadas de decisões relacionadas a arquitetura, paisagismos e design urbano, numa antecipação de impactos de projetos propostos na infraestrutura urbana (Belaroussi *et al.*, 2024)

3 METODOLOGIA

3.1 CENÁRIO

A partir da década de 1980, os municípios de Igrejinha, Parobé, Três Coroas e Taquara sofreram um processo de crescimento urbano acelerado, associado à reestruturação produtiva regional e à expansão das atividades industriais, comerciais e de serviços. Esse processo ocorreu de forma particularmente intensa em áreas vinculadas ao setor coureiro-calçadista que substituiu a produção rural, e que desempenhou papel central na reorganização do espaço urbano e na atração de fluxos migratórios regionais, contribuindo para a ampliação da mancha urbana e para o adensamento populacional nos principais eixos viários (IBGE, 1991; IBGE, 2000; IBGE, 2022).

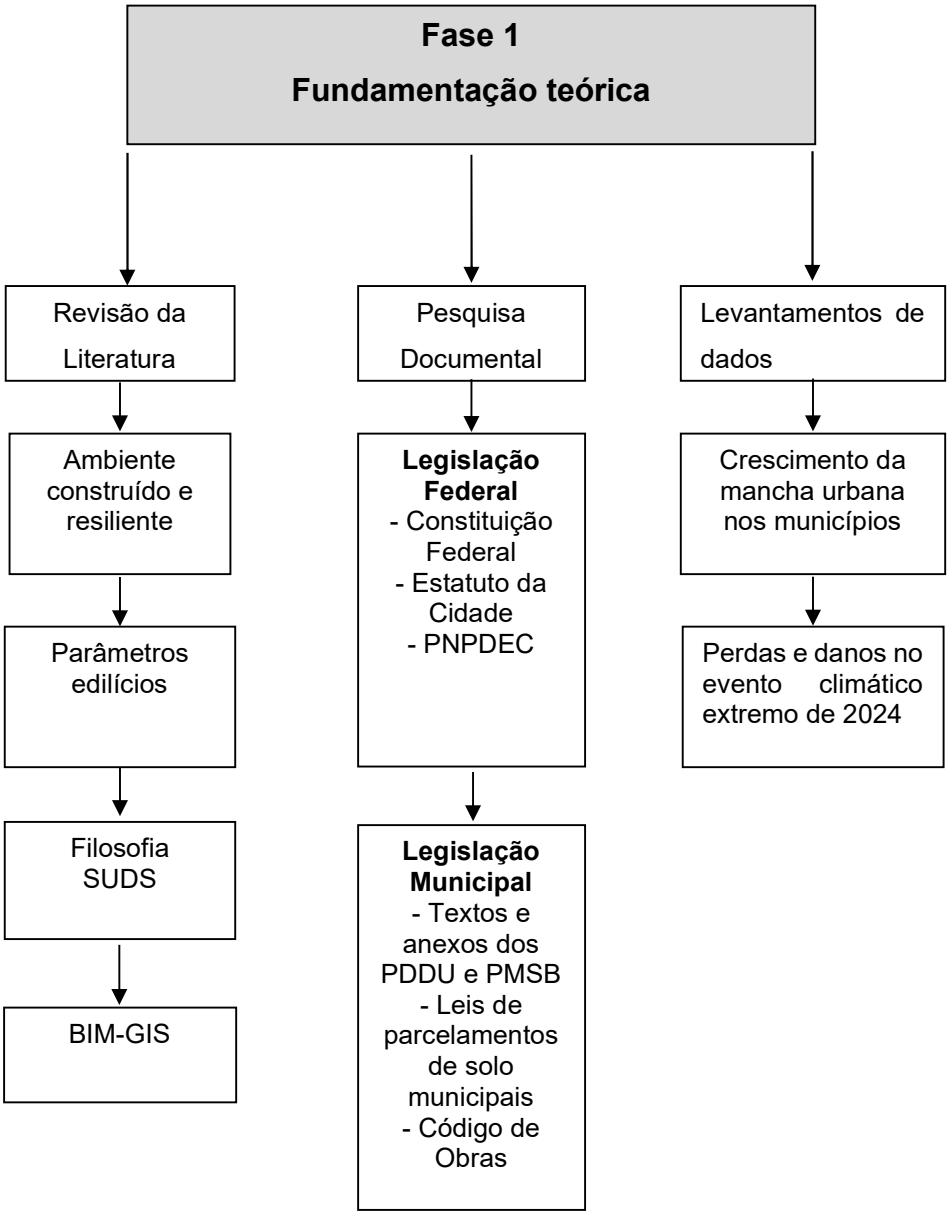
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A natureza da pesquisa é aplicada, tendo por objetivo ser exploratória e os procedimentos metodológicos utilizados terão por base estudo bibliográficos e documental da legislação em vigor nos quatro municípios que trata sobre uso e ocupação de solo, como Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Plano Ambiental, Plano de Mobilidade Urbana, Lei de Parcelamento de Solo e Código de Obras (Jung, 2004).

A pesquisa foi realizada em fases distintAs: a primeira de fundamentação teórica e apresentação de conceitos, a segunda, de análise do território e a terceira de síntese e proposição.

A primeira fase, ver figura 12, de fundamentação teórica e apresentação de conceitos, foi realizada ampla revisão bibliográfica sobre os conceitos relacionados ao tema de pesquisa. Conceitos que influenciaram e influenciam o desenvolvimento e a morfologia das cidades, identificação de aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental nas propostas de urbanismo e de edificação. Após, os vários aspectos relacionados à sustentabilidade e qualidade ambiental do ambiente construído, de forma a compreender o que deve ser considerado dentro do processo de projeto.

Figura 12: Fluxograma da fase 1 – Fundamentação teórica



Fonte: o Autor (2026)

Para isso, são definidos conceitos importantes para o entendimento do trabalho: o que é ambiente construído e resiliente e os critérios utilizados no uso e ocupação do solo urbano. A filosofia de drenagem sustentável aplicada a edificações e seus reflexos na infraestrutura urbana e a integração BIM-GIS, necessária para o acompanhamento das melhorias do ambiente construído com fins de transformação em ambiente resiliente é abordada de forma a apresentar o que existe de atual e as formas de aplicações, de forma simples ou combinadas dentro das edificações. A metodologia BIM e a tecnologia GIS são abordadas em várias possíveis situações de

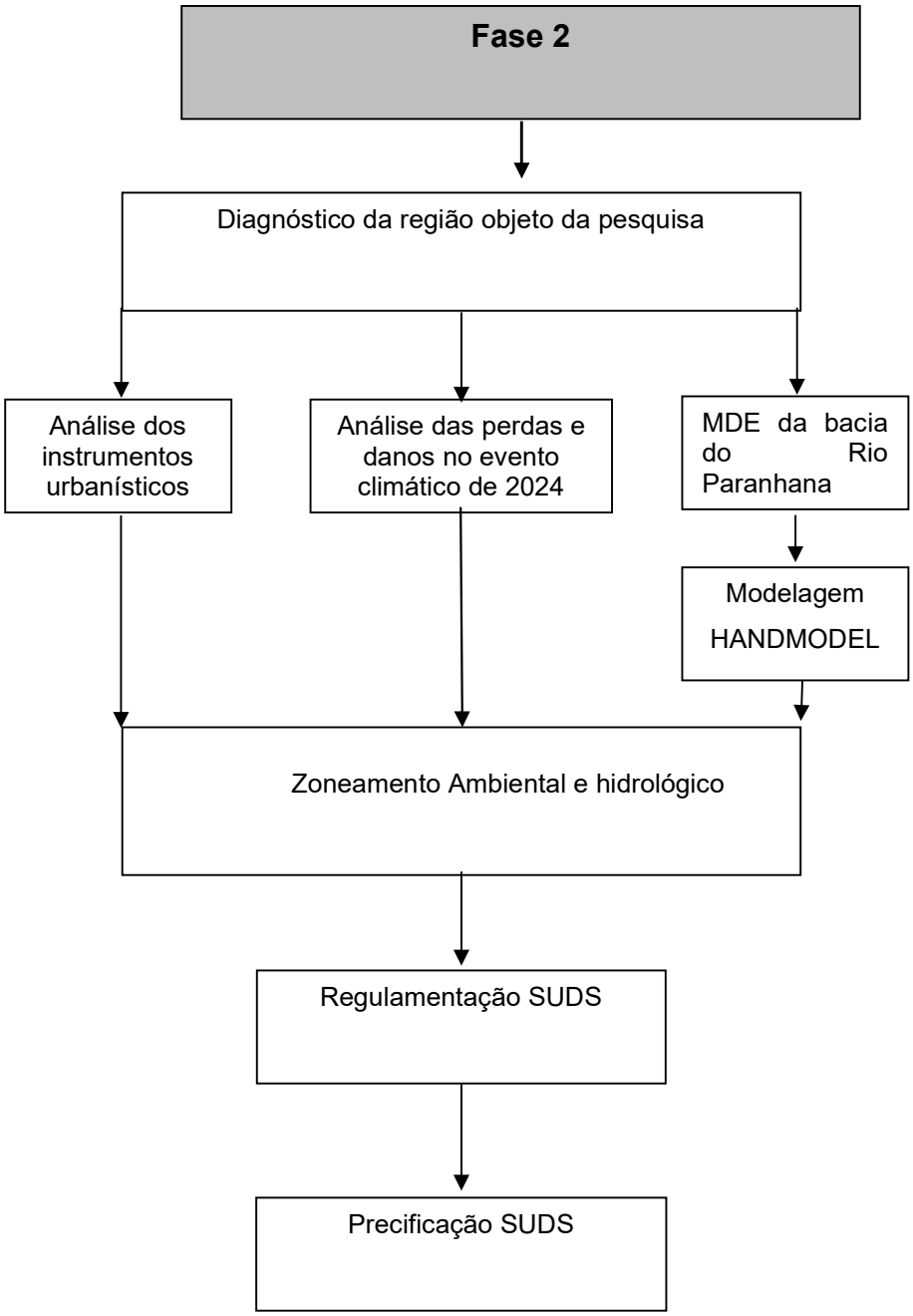
planejamento de construção em sua forma individual com o uso de BIM e dentro de um território georreferenciado GIS, e as possibilidades de planejamento urbano possíveis dentro desse universo.

Os estudos das legislações federais e municipais que afetam o urbanismo dos quatro municípios do Vale do Rio Paranhana a saber: Três Coroas, Igrejinha, Parobé e Taquara, principalmente relacionando a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, Estatuto das Cidades e a Constituição Federal com as legislações municipais representadas principalmente pelos planos diretores para a necessária análise dos índices urbanísticos que definirão a morfologia da região frente aos eventos climáticos extremos.

Por fim, obtidas imagens que apresentam o crescimento da mancha de ocupação urbana frente a imagem da mancha de inundação, tomada como modelo o evento extremo de maio de 2024, que apesar de não ter sido motivador inicial deste projeto, ganhou novos contornos pelos danos socioambientais, reafirmando a necessidade de discutir o uso e ocupação do solo urbano, tornando o foco em SUDS crucial para a adaptação do Vale do Rio Paranhana aos novos cenários climáticos.

A segunda fase, ver figura 13, foi de análise do ambiente construído do território em estudo, composto por quatro municípios banhados pelo Rio Paranhana a saber. Foram estudados e comparados os planos diretores de desenvolvimento urbano, elaborados mapas dos zoneamentos de forma integrada regionalmente com seus instrumentos urbanísticos, usos e ocupação do solo e verificados, ao longo dos anos passados o crescimento da mancha de ocupação ao longo das áreas alagáveis e inundáveis pelo rio e seus afluentes, de forma a modelar o desenvolvimento das cidades frente ao risco da mancha de inundação por cotas e dentro da mancha real de inundação do evento climático de maio do ano de 2024.

Figura 13: Fluxograma da fase 2 - Análise do ambiente construído

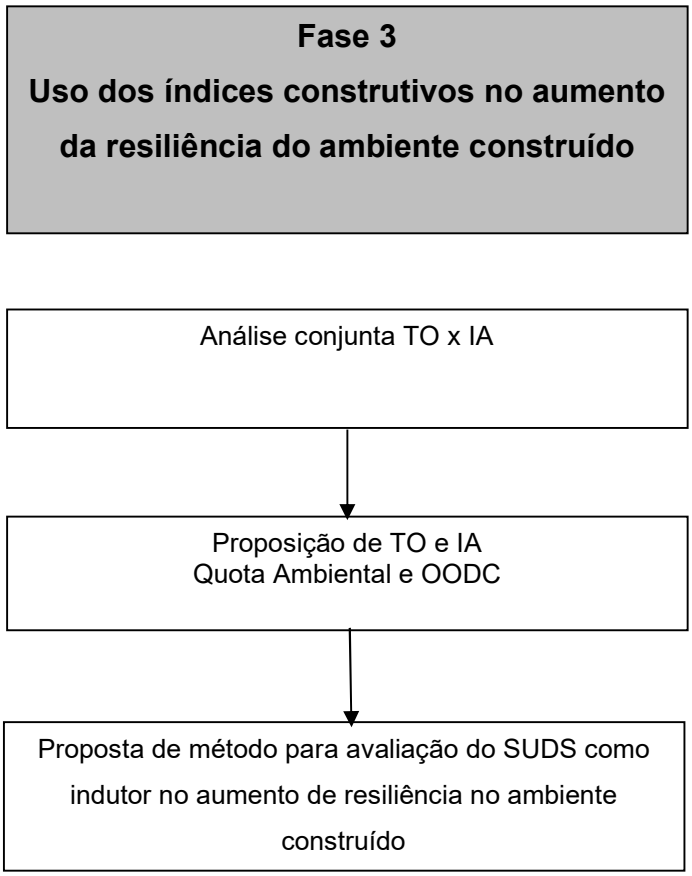


Fonte: o Autor (2026)

Foram feitos exercícios com os parâmetros de análise em vigor e elaboradas propostas de índices urbanísticos para os municípios utilizadas de forma regional, com a inclusão do instrumento da quota ambiental, trazendo a análise ambiental para dentro da análise técnica dos empreendimentos imobiliários urbanos, com foco em aumento da qualidade ambiental.

A terceira fase, ver figura 14, foi proposta uma planilha de análise de empreendimentos imobiliários a partir da incorporação da quota ambiental, com foco no aumento da qualidade ambiental que se reflete na resiliência do território. Diante das variáveis relacionadas à sustentabilidade ambiental urbana relacionadas nas duas primeiras fases da pesquisa, principalmente com o uso do SUDS nos projetos edilícios, são definidos exigências, requisitos e critérios relacionados ao adensamento populacional e a forma urbana, sendo proposto um método de como inseri-los no projeto.

Figura 14: Fluxograma da fase 3 - Proposta de método



Fonte: o Autor (2026)

4 ANÁLISE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

4.1 CRESCIMENTO URBANO DO VALE DO RIO PARANHANA

A dinâmica de urbanização desses municípios deve ser compreendida no contexto histórico de formação do território regional. Conforme evidencia Gevehr, (2017), o processo de ocupação territorial antecede a urbanização contemporânea e se ancora em uma lógica histórica de apropriação do espaço, ocupando zonas de várzea. Esse marco histórico contribuiu para a conformação dos núcleos urbanos atuais, delimitando as atuais sedes municipais que evoluíram de pequenas colônias agrícolas para centros urbanos regionalmente articulados, utilizando-se do rio de várias formas, seja no uso e ocupação do solo por cidade, seja como traçado da via férrea ligando taquara à serra. A ocupação aconteceu independente do entendimento do comportamento ambiental do Rio Paranhana, hoje sendo colhidos os resultados dos impactos ambientais causados em toda a bacia hidrográfica.

Entre as décadas de 1990 e 2020, observa-se a consolidação de Taquara e Parobé como polos de atração populacional e econômica, enquanto Igrejinha e Três Coroas acompanharam essa dinâmica em escala complementar de menor intensidade, estimuladas pela proximidade territorial e pelos fluxos pendulares de trabalho. Esse crescimento ocorreu, em grande parte, de maneira pouco planejada, gerando processos de espraiamento urbano, ocupação de áreas ambientalmente frágeis e intensificação das pressões sobre a infraestrutura urbana, sobretudo nos sistemas de drenagem, saneamento básico e mobilidade (Santos, 1993).

O quadro 6 apresenta a evolução populacional das cidades a partir de 1970, onde a população de Parobé em 1970 e 1980 está contada junto ao município-mãe Taquara.

Quadro 6: Incremento populacional nas cidades banhadas pelo Rio Paranhana

Município	1970	1980	1991	2000	2010	2022
Taquara	31167	41376	42467	52825	54656	53242
Parobé			31995	44776	51481	52058
Igrejinha	7062	12027	20514	26767	31663	32808
Três Coroas	6370	10470	15087	19430	23855	24425
Total	44599	63873	110063	143798	161655	162533

Fonte: IBGE (1970, 1980, 1991, 2000, 2010, 2022)

A rápida expansão urbana intensificou a segregação socioespacial e ampliou os riscos associados a eventos climáticos extremos, especialmente em áreas de várzea e encosta, fenômeno que evidencia a relação direta entre crescimento urbano e vulnerabilidade ambiental. Nesse sentido, o crescimento das cidades do Vale do Rio Paranhana expressa não apenas uma dinâmica demográfica expresso no quadro 7, mas um processo de transformação socioespacial complexo, marcado por contradições entre desenvolvimento econômico, planejamento territorial e sustentabilidade urbana (Maricato, 2011).

Quadro 7: Número de domicílios (ocupados ou nâo)

Município	2000	2010	2022(*)
Taquara	16236	22213	20888
Parobé	13059	18550	19888
Igrejinha	8059	11920	12772
Três Coroas	5737	8865	9275
Total	45091	63558	62823

Fonte: IBGE (2000, 2010, 2022)

(*) O resultado de 2022 foi prejudicado pelo alto número de pessoas que se recusaram a responder os questionários, trazendo uma redução no número de domicílios em determinadas cidades, Taquara entre elas

O uso e ocupação do solo pressupõe a utilização dos recursos do meio ambiente. O espaço antes formado por florestas transfomado em lavouras e campo de pastagens pelos primeiros ocupantes das várzea do Rio Paranhana viu ser transformado em área urbana, ocupando inclusive a área de inundação do rio e dos arroios que cortam as zonas centrais. Com exceção de Parobé, as outras três cidades apresentam cursos d'água que cortam a zona central da cidade e, não raro, extravasam e causam alagamentos no centro das cidades, trazendo além de transtornos, prejuízos financeiros e ambientais. Tais cursos se encontram canalizados, podendo se encontrads na forma aberta e fechada.

A organização do espaço urbano veio após a explosão demográfica das décadas de 1980 e 1990. O primeiro Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Taquara foi aprovado pela lei Municipal 3715/2006, posteriormente substituído pela

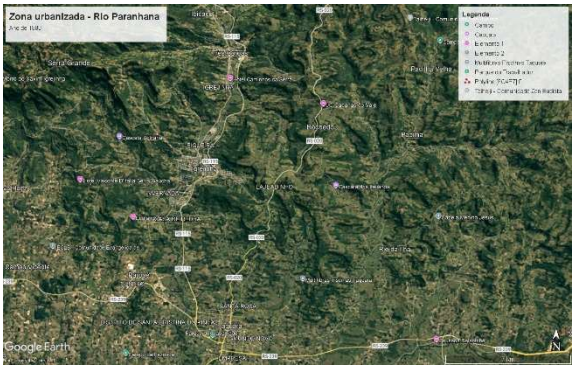
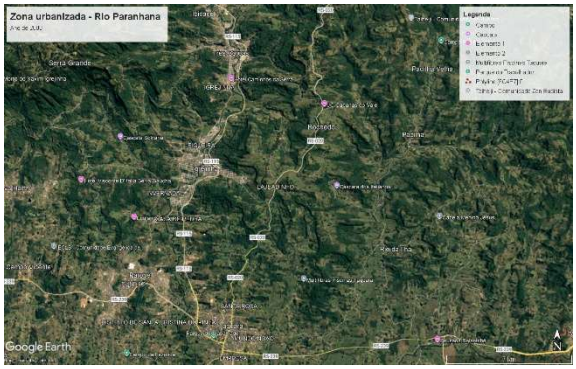
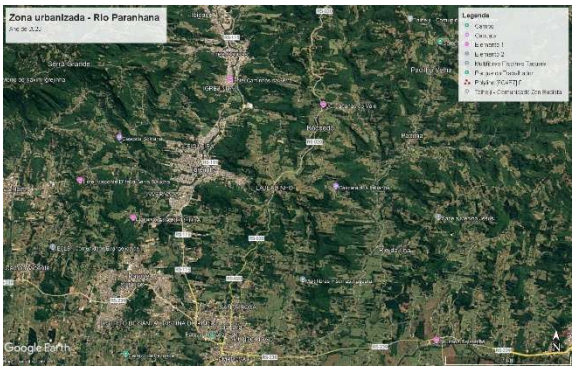
Lei Municipal 18/2022. O Plano Diretor do Município de Parobé foi promulgado em 2001 na lei 1840, atualmente em processo de revisão. Igrejinha, tem em vigor a Lei Complementar 006/2020, substituindo a Lei Municipal 3824/2006, mas tem a primeira versão aprovada pela Lei Municipal 086/1968. Três Coroas teve a sua primeira versão de Plano Diretor aprovada pela Lei Municipal 134/1969, estando atualmente em vigor a Lei Municipal 3616/2016.

Pesquisando a palavra “ambiente” ou “ambiental” nos planos diretores, a legislação de Igrejinha e Parobé responde com nenhuma citação. A legislação de Parobé tem sete citações para a palavra “ambiente” e cinco citações para “ambiental” trazendo a Secretaria do Meio Ambiente para a gestão compartilhada do uso do solo com a Secretaria de Planejamento. A legislação de Taquara é mais ampla e complexa, com vários anexos, dificultando a pesquisa por palavras mas traz capítulo que trata sobre “Sustentabilidade Ambiental e Infraestrutura” (capítulo III) além de identificar zonas de interesse social e ambiental entre outras citações que compatibiliza o Plano Diretor com o Plano Ambiental.

Apesar dos municípios apresentarem na sua estrutura organizacional a secretaria de Planejamento Urbano independente da secretaria do Meio Ambiente, essa separação administrativa não foi suficiente para garantir um eficiente controle da expansão urbana, condicionada as dinâmicas e pressões imobiliárias em detrimento dos critérios ambientais, principalmente no uso racional do solo.

Essa fragilidade na governança fica clara e evidente quando analisada com a evolução da ocupação urbana ao longo do tempo, utilizando-se de imagens de satélite disponibilizadas no Google Earth para os anos de 1980, 2000 e 2020, que permitem observar a expansão progressiva das manchas urbanas junto às estradas de ligação entre as cidades, resultando em uma região conurbada, a despeito de uma coordenação entre os municípios. Essa dinâmica apresentada no quadro 8 revela a limitação das estruturas de planejamento urbano e gestão ambiental na expansão territorial, principalmente quando é sobreposta, de forma complementar, a mancha de inundação fornecida pelo órgão de planejamento urbano metropolitano – METROPLAN, mostrando que parte significativa dessa ocupação se deu em áreas suscetíveis a alagamentos.

Quadro 8: Uso do solo ao longo do tempo - 1980-2020

Ano 1980	Ano 2000
	
Ano 2020	**Mancha de inundação**
	

Fonte: Google Earth (2025)

Um dos equívocos comuns que precisa ser esclarecido é que “ordenamento” é diferente de “uso do solo”. São instrumentos distintos, porém complementares no planejamento e gestão do espaço territorial urbano, tratadas em escalas distintas e tratadas em diferentes competências legislativas e executivas, com o ordenamento territorial apresentando um caráter estratégico e integrador em escala regional, articulando políticas públicas setoriais, harmonizando interesses entre municípios e orientando o desenvolvimento territorial de forma equilibrada, conforme preconiza a Constituição Federal de 1988 no artigo 182, o que foi reforçado no Estatuto da Metrópole (Lei nº 13.089/2015). Já o uso do solo, é a aplicação a nível municipal, materializado nos instrumentos de zoneamento dentro do Plano Diretor, nos termos do Estatuto da Cidade (Lei nº 10257/2001), regulando diretamente as formas de ocupação, densidade e atividades permitidas no território do município. A desarticulação entre o ordenamento territorial regional e normas municipais de uso e

ocupação do solo tendem a produzir conflitos espaciais, fragilizando a governança municipal dentro do regional, favorecendo processos de expansão urbana de forma desordenada, comprometendo a função social da cidade através de movimentos pendulares (Peres; Chiquito, 2012).

O quadro 7 evidenciou o processo de uso e ocupação do solo ao longo do Rio Paranhana nos municípios estudados, revelando um padrão de crescimento urbano progressivo ao longo dos últimos 40 anos, intensificado de forma nítida nos últimos 20 anos, já sob a égide dos planos diretores. É possível observar a mancha urbana expandindo de forma contínua e não coordenada entre os municípios, avançando sobre áreas naturalmente suscetíveis a inundações, desconsiderando a lógica ambiental da bacia hidrográfica. Tal dinâmica expõe a fragilidade do ordenamento a nível regional, apesar dos ordenamentos municipais permitirem a ocupação do solo sob certos condicionantes. Esses condicionantes permitem a impermeabilização do solo, eliminando o “efeito esponja” que a várzea do rio cumpre, prejudicando as cidades localizadas na sequência do rio, ampliando o nível das cheias. Essa desarticulação contribui para a consolidação de um território vulnerável a eventos extremos, ampliando riscos socioambientais e evidenciando os limites do planejamento urbano baseado exclusivamente em instrumentos municipais.

4.2 ANÁLISE DOS ÍNDICES MUNICIPAIS DO PLANO DIRETOR E MUPRS

Este capítulo está fundamentado na sistematização de dados quantitativos e qualitativos extraídos dos Planos Diretores dos municípios de Igrejinha, Parobé, Taquara e Três Coroas, materializando uma análise comparativa que apresenta as discrepâncias de entendimento, estratégias urbanísticas e lógicas de ocupação urbana adotadas por cada administração e que as vezes são conflitantes entre si e pouco sensíveis à dinâmica hidrológica regional. A análise é técnica sobre os números apresentados nos planos não entrando no mérito das questões políticas e interesses econômicos sobre o zoneamento, apesar de afetarem o uso do solo principalmente nas zonas centrais mais antigas das cidades.

Além dos índices urbanísticos convencionais, a análise incorpora legislações complementares que alteram substancialmente a dinâmica do solo, com especial destaque para a Lei Municipal nº 6131/2018 de Taquara, que impõe restrições rigorosas ao lançamento de águas pluviais, redefinindo o potencial construtivo sob a

ótica da drenagem sustentável, mas também onera o empreendedor com um custo que redefine o valor venal do imóvel.

Esta estrutura de dados permite confrontar a autonomia legislativa municipal com os desafios técnicos de um território compartilhado, revelando como parâmetros distintos de Índice de Aproveitamento (IA) e Taxa de Ocupação (TO) modelam a paisagem urbana de forma heterogênea.

Igrejinha tem foco na Zona de Centralidade Urbana e na Zona de Centralidade Urbana Expandida, com os maiores índices de aproveitamento e taxa de ocupação do solo, favorecendo a verticalização e impermeabilização da cidade, conforme quadro 9. Essas duas zonas acompanham o traçado do Rio Paranhana, abrangendo o núcleo histórico da urbanização da cidade, convivendo com inundações e alagamentos através dos arroios que cortam a cidade. Acompanhando essas regiões e também dentro da zona de inundação, visualiza-se a Zona de Miscigenação de Bairro, também com índice de aproveitamento que privilegia a verticalização em menor altura que as zonas de centralidade e com uma taxa de ocupação de 75%, impermeabilizando o solo e aumentando os problemas recorrentes de alagamentos.

Quadro 9: Regime Urbanístico do município de Igrejinha

Zoneamento	Uso das zonas	Sigla	IA (%)	TO (%)	Área (ha)	Taxa de permeabilidade
Zona de Desenvolvimento 1	Zona principalmente de uso industrial e comercial que se caracteriza por ser o mais importante acesso da cidade e, desta forma, tem como objetivo a compatibilização entre as atividades econômicas e a qualidade da paisagem que deverá potencializar a identidade local, convidando os que se deslocam pela rodovia a ingressarem na cidade	ZD1	1,5	75	183,71	

Continua

Continuação

Zona de Desenvolvimento 2	Zona destinada principalmente às indústrias, armazéns, comércio atacadista e que deve contar com infraestrutura necessária para atração de novos empreendimentos, compatibilizando-os com o núcleo de residências	ZD2	3	85	332,39
Zona Industrial	Zona com foco no desenvolvimento econômico e destinada à implantação de indústrias, sendo proibida a atividade residencial	ZI	1,5	80	142,18
Zona Centralidade Urbana	Zona cujo uso do solo deve ser intensivo, com alta densidade de usos comerciais e poucas residências, concentrando usos institucionais e serviços de atendimento a toda população	ZCU	4,0	85	151,03
Zona Centralidade Urbana Expandida	Zona que se caracteriza por ser a expansão da Zona de Centralidade Urbana, contando também com usos comerciais e de serviços variados, mas com maior concentração de residências	ZCUE	3,0	85	173,60
Zona Miscigenação de bairro	Zona majoritariamente residencial na qual as demais atividades devem ser de porte pequeno e pouco impactantes, mantendo as características de bairro e qualidade de vida	ZMB	2,0	75	1350,96
Zona Núcleo Histórico		NH	1,5	85	42,02
Zona de Transição Urbana	Zona majoritariamente residencial, com menor densidade e presença de áreas ambientais a serem preservadas e valorizadas	ZTU	1,5	70	1049,64
Zona Especial de Interessse Social		ZEIS	4,0	85	100,37

Fonte: Plano Diretor de Igrejinha (2025)

Também a Zona de Miscigenação de Bairro recebe áreas de maior declividade inseridas na bacia do Rio Paranhana. Em parte livres dos problemas de maior inundação, a alta taxa de impermeabilização contribui para o aumento no volume das águas escoadas para as Zonas de Centralidade e Centralidade Expandida.

A cidade privilegia o uso de solo no corredor formado pela ERS-115 denominado de Zona de Desenvolvimento 1 e, junto a divisa com o município de Taquara, ao leste da rodovia, localiza-se o bairro industrial. São regiões onde não existem problemas de inundações, alagamentos e deslizamentos de massa. Neste

lado da rodovia, os riscos ambientais ocorrem onde não existe ainda uma ocupação intensa, caso da Zona de Transição Urbana, ou onde a cidade é consolidada e denominada de Zona de Miscigenação de bairro.

O município de Igrejinha privilegia a flexibilidade do uso do solo permitindo múltiplas funções urbanas em zonas próximas ao rio e que compõe o centro comercial e administrativo da cidade, proporcionando uso intensivo do solo que não são acompanhadas por restrições ambientais na mesma proporção, fragilizando a proteção do leito maior do Rio Paranhana e dos seus arroios afluentes que cortam a zona urbana do município, comprometendo a resiliência do município frente a eventos climáticos de chuvas intensas e contribuindo com a conurbação desordenada da região.

A ocupação do leito maior do Rio Paranhana e seus arroios afluentes, relação que acontece desde o início da ocupação do território, representa um componente ambiental para a zona urbana do município que não é representado no Plano Diretor do município. Devido as características do Rio Paranhana e seus afluentes e pelo relevo e características do solo, a zona central da cidade é suscetível a inundações rápidas em eventos extremos. Essa condição natural de escoamento das águas pelos cursos d'água é agravada pela crescente impermeabilização do solo e redução da capacidade de infiltração do solo, eliminando regiões de amortecimento natural. As restrições impostas pela legislação municipal se verificam impotentes sobre o crescimento imobiliário em áreas suscetíveis a alagamentos e inundações. Pode-se afirmar que os instrumentos urbanísticos, ao invés de atuarem como mecanismos de mitigação de risco, acabaram por reforçar um modelo de crescimento urbano dissociado da realidade hidrológica do território.

Os dados apresentados no Mapa Único Plano Rio Grande apresentam que 52,2% dos endereços da cidade foram atingidos pelo evento climático de abril/maio de 2024 que assolou o Estado do Rio Grande do Sul, atingindo 50,9% da população da cidade que representam 63,2% das famílias da cidade. O número de CNPJs ativos atingiu 63,8%, mostrando que a atividade econômica da cidade acontece no entorno do Rio Paranhana, seja na forma de empresas ou em forma de MEI, com um total de 59,2% de atingidos. Nos equipamentos públicos, 62,3% foram atingidos e a malha rodoviária ficou em 28,60%, representada em grande parte por vias de uso local. O evento não afetou 1,9% das áreas cadastradas no Cadastro Ambiental Rural – CAR e apenas um estabelecimento agropecuário, representando um percentual de 0,4%.

A página do MUPRS mostra a dependência urbana social, econômica e ambiental da cidade em relação ao Rio Paranhana e seus afluentes, onde o zoneamento contribuiu para a intensificação do uso do solo, suprimindo as áreas de várzea e se expondo, conscientemente, às condições de cheias do rio e seus afluentes.

Em Parobé verifica-se um equilíbrio nas zonas residenciais e comerciais, com altos índices de aproveitamento e taxa de ocupação, privilegiando a intensificação do uso do solo urbano e a valorização imobiliária, promovendo adensamento construtivo na forma de verticalização e forte impermeabilização do solo. O quadro 10 apresenta de forma sintética o resumo urbanístico da cidade.

Quadro 10: Regime Urbanístico do município de Parobé

Zoneamento	Uso das zonas	Sigla	IA (%)	TO (%)	Área (ha)	Taxa de permeabilidade
Zona Residencial 1	Caracteriza-se pelas condições físicas com alguma restrição à ocupação, com disponibilidade de infra-estrutura urbana, permitindo uma ocupação de média densidade populacional integrada às atividades de comércio e serviços local	ZR1	3,5	80	242,78	
Zona Residencial 2	Caracteriza-se pelas condições físicas favoráveis à ocupação, com disponibilidade de infra-estrutura urbana, permitindo uma alta densidade populacional integrada às atividades de comércio e serviços	ZR2	4,0	85	2938,87	
Zona Comercial 1	Corresponde ao núcleo urbano inicial do Município. Caracteriza-se pelas condições físicas e de infra-estrutura favoráveis à ocupação intensiva, predominando as atividades comerciais e de serviço	ZC1	4,0	90		

Continua

continuação

Zona Comercial 2	Caracteriza-se pela proximidade aos eixos de ligação intermunicipais, principais e vias coletoras, permitindo a integração dos diversos usos: residencial, comercial, industrial não poluente e instalação de estabelecimentos de apoio as ZIs e ZCs	ZC2	4,0	90	
Zona Industrial 1	É uma zona que já está consolidada junto à área ocupada, apresentando boas condições de acesso e adequadas condições de sítio, permitindo a instalação de indústrias de maior porte não poluidoras sem maiores incômodos à ocupação existente	ZI1	1,5	85	
Zona Industrial 2	É uma zona que pela sua localização contígua a área ocupada e boa acessibilidade, permite a concentração de industrias de grande porte com baixo ou médio potencial poluidor	ZI2	1,5	80	
Zona de Preservação Ambiental	É a zona que apresenta recursos naturais com interesse de proteção	ZEIA	Uso Especial		
Zona de Expansão Territorial	É a zona reservada para a expansão urbana do município. - Para cada zona serão fixados usos capazes de se desenvolverem sem comprometer as suas características	ZEU	Uso Especial		

Fonte: Plano Diretor de Parobé (2025)

Com uma ocupação inicial afastada de riscos ambientais do Rio Paranhana, a cidade foi crescendo em direção a Taquara e Igrejinha, trazendo e ampliando o problema de inundações e alagamentos frente a eventos climáticos de chuva intensa para dentro da administração, primeiro na ligação com o município de Taquara e de forma mais recente, com a ligação com o município de Igrejinha. Nessa movimento de ocupação do solo, a cidade encontrou as zonas de inundação do Rio Paranhana e criou zonas de alagamentos que antes aconteciam em zonas rurais, hoje ocupadas por loteamentos habitacionais.

Independente dos altos índices construtivos, a cidade se espalhou com a construção de loteamentos populares, embasando o crescimento da mancha urbana em programas habitacionais governamentais. Como consequência, ocorreu a diminuição das regiões de infiltração das águas de chuva e das zonas de amortecimento. Cursos d'água naturais, perenes ou não, foram canalizados aumentando picos de alagamentos e inundações. Mesmo com a existência de zonas especiais de interesse ambiental, a sua localização não são contínuas ou formalizadas na sua ocupação, funcionando mais como exceções normativas do que como estrutura de proteção ambiental integrada.

No evento climático de 2024, o município de Parobé apresentou percentuais absolutos baixos de atingidos, mesmo considerando que o município é banhado por dois rios, o Paranhana e o Rio dos Sinos. Apesar de números baixos, não elimina a fragilidade estrutural de modelo de ocupação das faixas ao longo dos rios.

Sob o aspecto social, 1,9% da população total do município foi diretamente atingida pelo evento extremos. Em números absolutos, representa 994 pessoas atingidas, número muito parecido com as 922 pessoas atingidas e cadastradas no Cadastro Único e que representa 4,5% do total do cadastro. O número absoluto de residências atingidas é de 522, o que representa 1,9% dos endereços urbanos. Apesar de ser um número baixo, verifica-se que o impacto do evento recaiu de forma desproporcional sobre uma população de maior vulnerabilidade socioeconômica, reforçando as desigualdades na ocupação das áreas de risco.

Na dimensão econômica, 1,3% dos CNPJ ativos e 1,6% dos microempresários individuais foram atingidos. Esses pequenos empresários são os que tem menor capacidade de absorção de perdas, sendo beneficiados por programas como o Volta por Cima (427 auxílios concedidos) e SOS RS com 94 benefícios. Com um total de auxílio de R$ 1.255.500,00 nestes dois programas, os custos apesar de baixos em comparação com outros municípios foram significativos.

No cenário urbanístico, o município de Parobé apresenta uma permissividade na ocupação de áreas de risco com índices construtivos elevados, contribuindo para consolidar usos incompatíveis com a dinâmica dos rios. No evento de 2024, 24,4% das áreas vinculadas ao Cadastro Ambiental Rural-CAR foram atingidas, evidenciando que as cheias alcançam áreas rurais produtivas e que são ambientalmente sensíveis. Nessa configuração, as zonas atingidas devem continuar

com a função de retenção natural de cheias a com as várzeas protegidas, sendo consideradas como impróprias para uso urbano.

O modelo adotado por Taquara nos seus índices construtivos apresenta uma dualidade: ao mesmo tempo em que incentiva um equilíbrio em toda a zona urbana do município, propõe o adensamento vertical com a compra de índices construtivos que podem dobrar o apresentado em planilha e ocupação extensiva do lote com uma taxa de ocupação de até 75%, impõe uma métrica rígida de controle de drenagem através da Lei Municipal 6131/2018 que faz parte do texto do plano diretor e limita o lançamento de águas pluviais a 21,5L/s.ha. De um lado, existe o estímulo para a verticalização (as áreas condominiais de uso comum e estacionamentos não são computados no índice de aproveitamento) enquanto no outro lado, o custo do empreendimento é elevado não apenas pela outorga, que tem preço estabelecido em lei, mas pela infraestrutura de engenharia necessária para cumprir a LM 6131/2018. O regime urbanístico do município de Taquara está apresentado de forma sintético no quadro 11.

Quadro 11: Regime Urbanístico do município de Taquara

Zoneamento	Uso das zonas	Sigla	IA (%)	TO (%)	Área (ha)	Taxa de permeabilidade
Zona Residencial	Ocupadas preferencialmente por usos residenciais complementados por atividades de comércio e serviços de baixo impacto e incômodo	ZR	1,5	75	36,93	7% (sete por cento) da área computável do lote
Zona Mista 1 Zona Mista 2 Zona Mista 3	Zonas onde é estimulada a ocupação por atividades residenciais, comércio varejista, serviços de pequeno e médio porte e indústrias de baixo potencial poluidor	ZM	1,5 1,5 2,4	75	1997,05 737,13 272,29	
Corredor de Comércio e Serviços 1 Corredor de Comércio e Serviços 2 Corredor de Comércio e Serviços 3	Zonas onde é estimulado a ocupação tanto por atividades residenciais como de comércio, serviços e indústrias compatíveis com o uso residencial	ZC	1,5 1,5 1,5	75 75 75		

Continua

Continuação

Corredor de Produção	Zonas localizadas ao longo das rodovias estaduais e avenidas urbanas com destinação prioritária para atividades de transporte, comércio (atacadista e varejista) e atividades industriais	ZM	1,5	75	
Zona Industrial	Zona destinada prioritariamente à ocupação por atividades industriais de baixo, médio e alto potencial poluidor, de acordo com os padrões de qualidade ambiental preestabelecidos pelas autoridades competentes, sendo proibido o uso residencial	ZI	1,5	75	48,55
Zona Tecnopolo	Ocupada por atividades empresariais e de ensino, dedicadas à inovação tecnológica e do conhecimento, que representem e fortaleçam o potencial estratégico de Taquara como pólo de desenvolvimento do conhecimento	ZT	1,5	75	69,36
Zona Especiais de Interesse Ambiental Zonas Especiais de Interesse Social Zona Especial de Potencial Histórico e Turístico Zona Especial de Interesse Institucional	Zonas especiais que exigem regime urbanístico e de parcelamento de solo específico	ZEIA ZEIS ZEIHC ZEII	1,0 1,0 1,5 Regime urbanístico próprio definido por lei	20 60 75	496,20 4,50
Núcleo Urbano de Ocupação Rural	Zonas urbanas de ocupação rarefeita ocupada por sítios de recreio	NUOR	1,0	30	
Zona Mista Distrital	Zonas urbanas das sedes dos distritos onde é estimulada a ocupação por atividades residenciais, comércio varejista, serviços de pequeno e médio porte e indústrias de baixo potencial poluidor	ZM	1,5	60	2058,61
Zona Mista de Expansão Urbana	Zonas onde é estimulada a ocupação por atividades residenciais, comércio varejista, serviços de pequeno e médio porte e indústrias de baixo potencial poluidor dentro da delimitação da expansão urbana	ZME	1,0	60	516,26

Continua

Continuação

Corredor de Produção de Expansão Urbana	Zonas localizadas ao longo das rodovias estaduais e avenidas urbanas com destinação prioritária para atividades de transporte, comércio (atacadista e varejista) e atividades industriais dentro da delimitação de expansão urbana	CPE	1,0	60	247,18
Zona de Urbanização Específica	Zona de Urbanização Específica	ZUE	Regime urbanístico próprio definido por lei		40,01

Fonte: Plano Diretor de Taquara (2025)

Diferente dos municípios vizinhos onde o problema das águas pluviais é transferido para a via pública, passando a ser um problema a ser administrado pela municipalidade, em Taquara o lote para determinadas tipologias e áreas de construção deve “reter”, “infiltrar” ou “retardar” as águas que acumulam sobre o lote, não recebendo nenhum benefício por isso. Também é apresentado em legislação a obrigatoriedade de 7% de taxa de permeabilidade no lote, insuficiente para absorver o volume hídrico para respeitar a legislação do município, obrigando ao uso de Sistemas de Drenagem Sustentáveis, sempre onerando o empreendedor e não oferecendo nenhum incentivo ao uso e manutenção dessas estruturas.

Estes condicionantes e restrições impactam diretamente as construções industriais e de grandes pavilhões, inviabilizando telhados sem dispositivos de retardo, terrenos sem condições de promover a infiltração no solo e/ou plantas industrias sem espaços para construção de caixas de retenção ou detenção. O uso do urbanismo dentro dessa tipologia de projeto se torna obrigatório para atendimento à legislação e viabilizar projetos com maiores áreas de cobertura, forçando um urbanismo mais “criativo” para que a ocupação do solo não aumente os picos de cheia.

Sobrepondo a região de alagamentos e inundações, não existem restrições quanto a ocupação de solo nessas zonas, mantendo a possibilidade de ocupação significativa do solo, prejudicando a função ambiental do solo ao não estabelecer uma faixa restritiva ao longo do Rio Paranhana, utilizando-se da política estadual e nacional de ocupação ao longo dos rios.

A faixa de restrição ambiental está baseada no mapa de inundação fornecido pela Metroplan e disponível na página oficial do município mas não estabelece uma faixa restrita para utilização do solo em pontos alagáveis ao longo do Rio Paranhana e seus arroios afluentes, incorporando ou transferindo para jusante riscos hidrológicos para o próprio município ou município lindeiro Parobé.

A análise do município de Taquara sob os números do MUPRS devem ser considerados que o município é banhado por três rios – Rio Paranhana, Rio dos Sinos e Rio da Ilha, além de arroios que cortam a zona urbana como o Arroio Tucanos.

Por ser um município de grandes dimensões, o município apresentou um comprometimento de 49km de sua malha viária, comprometendo a mobilidade com municípios vizinhos e internamente, isolando distritos. Dos imóveis rurais, 43km² de áreas do Cadastro Ambiental Rural – CAR e vinte e seis estabelecimentos agropecuários foram atingidos.

O atingimento de 1388 endereços, equivalentes a 4,4% do total no município e a necessidade de assistência a 629 famílias do Cadastro Único, 12,6% do total direcionam para uma correlação direta entre precariedade construtiva, ocupação de zonas de risco e vulnerabilidade socioeconômica. Sobrepondo o mapa de inundação sobre o mapa da cidade, as três condições existem em todas as áreas atingidas, sendo que bairros ficaram isolados pelo comprometimento da malha viária, prejudicando os serviços públicos de assistência e ajuda humanitária.

O número de microempreendedores individuais – MEIS igual a 114 de um total de 167 CNPJs aponta para a fragilidade da economia social diante do evento climático extremo, afetando a pequena economia dos bairros. Os recursos dos programas Volta por Cima e SOS RS totalizou 1.216.000,00.

Diferente dos municípios vizinhos, Três Coroas mantém uma hierarquia mais tradicional entre o centro e os bairros, conforme pode ser visto no quadro 12. Um centro compacto, composto por zonas comerciais concentram o potencial construtivos que varia de 1,8 a 2,5, promovendo uma centralidade que promove a verticalização da cidade, o que não acontece na prática. A cidade é composta de edificações baixas, não refletindo no mercado imobiliário os índices de aproveitamento propostos. Quanto a taxa de ocupação, apresenta os menores índices da região, garantindo um maior afastamento entre os imóveis, melhor ventilação e uma maior área permeável, que pode resultar em um ambiente urbano disperso. No sentido inverso da verticalização proposta pelo índice de aproveitamento, a taxa de ocupação incentiva a

horizontalização das zonas residenciais, com uma ocupação rarefeita que proporciona ganhos para os municípios a jusante.

Quadro 12: Regime Urbanístico do município de Três Coroas

Zoneamento	Uso das zonas	Sigla	IA (%)	TO (%)	Área (ha)	Taxa de permeabilidad
Zona Central 1	Predominantemente Comercial	ZC1	2,5	75	65,06	
Zona Central 2	Predominantemente Comercial	ZC1	1,8	66	14,59	
Zona Central 3	Predominantemente Comercial	ZC3	2,5	75	17,30	
Corredor Rodoviário	Exclusivamente comercial	ZCR	1,8	66	52,25	
Zona Mista 1	Ocupação mista	ZM1	1,8	75		
Zona Mista 2	Ocupação mista	ZM1	1,8	75	33,71	
Zona Mista 3	Ocupação mista	ZM1	1,8	66	43,33	
Zona residencial	Predominantemente residencial	ZR	1,2	50	973,41	
Zona Tecnopolo		ZT	1,8	66	35,14	
Zona Industrial 1	Uso industrial	ZI1	1,8	66	29,15	
Zona Industrial 2	Uso Industrial	ZI2	1,8	66	33,46	
Área Especial de Interesse Institucional - Praça	Uso especial	ZT	Da zona à qual se sobrepõe			
Área Especial de Interesse Histórico e Cultural 1		ZEH	Da zona à qual se sobrepõe			
Área Especial de Interesse Histórico e Cultural 2		ZEH	Da zona à qual se sobrepõe			
Área Especial de Interesse Social		ZEIS	1,2	66		
Área Especial de Interesse Urbanístico		ZEIA	Da zona à qual se sobrepõe			
Área de Interesse Institucional - Equipamentos		ZT	Da zona à qual se sobrepõe			

Fonte: Plano Diretor de Três Coroas (2025)

Privilegiando a proteção ambiental de áreas específicas da cidade na forma da Taxa de Ocupação em regiões menos urbanizadas, mantém critérios permissivos em zonas centrais consolidadas e próximas ao Rio Paranhana e seus arroios afluentes, ampliando a sensibilidade a eventos climáticos de chuvas intensas, resultando em uma proteção ambiental fragilizada e fragmentada sobre os cursos d'água que cortam a cidade.

Os dados do MUPRS confirmam que Três Coroas, por ser a primeira zona urbana que o Rio Paranhana encontra, é o que apresenta o quadro mais crítico da

bacia hidrográfica, no que se refere a exposição territorial, social e econômicia. Por estar localizado na transição entre o trecho encaixado que forma as corredeiras que possibilitam o esporte da canoagem para setores de planície aluvial, o município concentra expressivo adensamento urbano em áreas historicamente sujeitas a inundações por parte do rio, o que se reflete nos números dos impactos registrados

Pelo lado social, 5.409 endereços urbanos que correspondem a 41,1% do total de 13.145 endereços de Três Coroas foram atingidos e a população afetada é de 9.678 pessoas, o que representa 39,6% de um total de 24.425. Com esses percentuais, Três Coroas é o município mais atingido entre os quatro analisados, o que deixa claro a relação estrutural de vulnerabilidade entre a cidade e o regime hidrológico do rio. A análise das famílias em vulnerabilidade social reforça o diagnóstico, com 44,9% das famílias cadastradas e 43,4% das pessoas cadastradas foram atingidas, além dos 51,4% de Microempresários Individuais.

Do ponto de vista econômico, os números não melhoram, revelando a fragilidade local frente as cheias. Segundo o MUPRS, 53,7% dos CNPJ ativos do município foram atingidos. Esse percentual representa 1685 CNPJs ativos de um total de 2.939.

Na infraestrutura e nos serviços públicos, dezesseis de um total de trinta e seis dos equipamentos públicos foram atintigidos. Isso representa 44,4% além de 21,30% da malha rodoviária. Portanto, a cheia do rio atinge, além do privado, o setor público, afetando a capacidade operacional do poder público, tornando inacessíveis serviços públicos essenciais e a resposta emergencial durante eventos extremos.

De forma compensatória, apenas 2,3% da área cadastrada no CAR foi atingida de forma direta, predominando os danos na área de ocupação urbana. Isso reflete a intensa ocupação das planícies de inundação, mostrando que a vulnerabilidade do município está associada ao modelo urbano adotado, em locais historicamente atingidos pelas enchentes. A ausência de restrições efetivas à ocupação do leito maior do rio e a inexistência de um ordenamento territorias em escala de bacia hidrográfica contribuem para a consolidação de um padrão urbano vulnerável, onde os efeitos se manifestam de forma recorrente e cumulativa.

Com esses números, o município de Três Coroas se coloca como o mais atingido entre os municípios em estudo, deixando evidente que parcela significativa das atividades econômicas de Três Coroas está localizada em área diretamente atingida pelas inundações do Rio Paranhana, comprometendo a continuidade das

atividades produtivas, gerando prejuízos e ampliando a dependência de auxílios públicos. A elevada proporção dos impactos sociais, econômicos e infraestrutura mostra que a relação cidade x rio não pode mais ser tratada por meio de ajustes pontuais no plano diretor mas sim, em uma forma mais abrangente de análise com o Plano Municipal de Saneamento Básico e com estudos regionais orientada para os processos hidrológicos do município. Persistindo o modelo adotado, tende a ampliar os riscos e os custos sociais, reforçando a revstão dos instrumentos urbanísticos.

4.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Estruturados ao longo do Rio Paranhana, as cidades de Três Coroas, Igrejinha, Parobé e Taquara ocupam historicamente áreas de planície fluvial e fundos de vale do rio, além dos cursos d'água que cortam as regiões centrais das cidades, ampliando a exposição a alagamentos e inundações urbanas, além dos deslizamentos de massa. Visualizar e compreender os condicionantes físicos do território é fundamental para reduzir vulnerabilidades e propor condicionantes para o desenvolvimento urbano sustentável e, para isso, a tríade digital - modelagem digital de elevação (MDE), BIM e GIS assume um papel estratégico no desenvolvimento sustentável e na validação hidrológica dos modelos construídos. A convergência entre as ferramentas cria um ecossistema de análise que permite prever impactos e planejar a resiliência das cidades, com o GIS contextualizando a escala macro e regional e o BIM detalhando o micro da infraestrutura sobre uma base geométrica fornecida pelo MDE, sobre a qual toda a simulação de riscos se sustenta.

O desenvolvimento regional sustentável muda de patamar a partir de uma leitura tridimensional do espaço a ser estudado e não pode mais ser dissociado da inteligência de dados. Para a engenharia, a modelagem de elevação é insumo básico para dimensionamento de infraestrutura que técnicos em urbanismo planejam ocupar onde, inicialmente a cartografia oferece a precisão métrica e a fidelidade representativa através de referenciais geodésicos que permitem projetos de grande escala. A geografia aporta a visão sistêmica, interpretando a influência do relevo no uso e ocupação do solo além da dinâmica ambiental. A fusão de vários olhares permite uma transição do modelo de "gestão de crises" para um modelo de "gestão de riscos", o que pode ser fundamental para a saúde financeira dos municípios deste estudo.

Apesar do aumento do conhecimento sobre aspectos de previsão, modelagem e mapeamento de eventos, principalmente de inundações, a frequência e amplitude dos eventos estão em processo de aceleração devido a diversos motivos, podendo ser citado as mudanças climáticas e o crescimento acelerado da urbanização, que traz a vulnerabilidade à eventos de inundações e alagamentos. Por isso, a modelagem de elevação cumpre um papel fundamental na identificação de áreas sujeitas a inundações, sendo essencial para o planejamento dos recursos hídricos e gestão do uso do solo. Sendo a representação simplificada da realidade, tem o objetivo de prever o comportamento a partir de dados históricos e evolutivos proporcionando a oportunidade de investigar possíveis efeitos de diferentes alterações a longo prazo (Garcia; Júnior, 2022).

A integração da modelagem com o sistema de informações geográficas é amplamente utilizada para simular padrões de inundação, hidrodinâmica da inundação e riscos de inundação, sendo de grande relevância para o entendimento dos alagamentos e inundações, passando a ser parte integrante da gestão de riscos. Da modelagem, extrai-se informações de direções de fluxo, declives, dados da bacia como comprimento e delineamento que oferecem a possibilidade de contribuir para a gestão do uso do solo, minimizando perdas futuras ou mitigação dos problemas já existentes.

4.3.1 MDE da Bacia do Rio Paranhana e modelagem HANDMODEL

O trabalho teve como objetivo avaliar o processo de ocupação e a relação entre o planejamento urbano e as problemáticas relacionadas à inundações, mediante a avaliação dos planos diretores e verificando se a confecção e revisão dos planos diretores integram-se a um planejamento e gerenciamento de riscos, considerando a bacia hidrográfica na qual a urbanização se desenvolveu. Tal entendimento se faz necessário para entender a influência da ocupação desordenada e descontrolada da urbanização aumentam os alagamentos e as inundações dos cursos d’água menores e o surgimento de inundações torrenciais subsequentes e cada vez mais frequentes (El-Beheiry, 2025; Frutuoso; Grigio; Barros, 2020).

A sequência dos passos para obtenção do MDE e mancha de inundação do Rio Paranhana foi obtida junto ao minicurso “QGIS aplicado na drenagem” disponível no portal Sobre as águas, no endereço https://sobre-as-aguas.memberkit.com.br/. A

sequência das atividades no aplicativo HANDMODEL está disponível no link https://www.youtube.com/watch?v=QF5s8Mj3p9s.

Por ser um trabalho de grande escala que abrange a bacia do Rio Paranhana, deve ser escolhido a referência espacial a ser usada como base para o georeferenciamento, sendo composto por DATUM e Sistemas de Coordenadas. DATUM é o modelo matemático que descreve a superfície da terra. No Brasil, a partir do ano de 2012 foi definido e tornado oficial pelo IBGE o uso do SIRGAS 2000. Sistemas de coordenadas utilizado foi o sistema métrico em UTM – Projeção Transversa de Mercator, Zona 22S.

O software utilizado para obtenção da modelagem do terreno foi o QGIS Desktop versão 3.40.7, uma plataforma de código aberto destinada à visualização, edição e análise de dados georreferenciados. A ferramenta permite trabalhar com dados vetoriais e raster, possibilitando a criação e personalização de estilos e camadas cartográficas conforme as necessidades do usuário. Entre seus principais recursos destacam-se funções de geocodificação, análise de distância, filtragem e integração de dados, que auxiliam na realização de análises espaciais complexas. O software também permite a edição direta de dados vetoriais e o processamento de imagens raster (imagem digital composta por uma grade retangular de minúsculos pontos coloridos denominado pixels), incluindo classificação e análise, ampliando sua aplicabilidade em estudos de modelagem e interpretação do terreno (El-Beheiry, 2025).

A base de dados para início de trabalhos foi obtida junto ao IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. O portal do IBGE em sua aba de geociências fornece os arquivos vetoriais no formato shapefile a delimitação das unidades federativas do país e municípios, tendo sido utilizado a divisão territorial de 2024. A base cartográfica de referência visual e contextualização espacial foi obtida através do plugin QuickMapServices instalado no QGIS, sendo escolhido o Google Satélite e serve como camada de fundo na composição dos mapas temáticos produzidos no âmbito da pesquisa.

Os dados relativos à hidrografia são obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, que disponibiliza informações geoespaciais em formato aberto .gpkg, que possibilita a organização em um único arquivo de múltiplas camadas de dados vetoriais e raster juntamente com suas respectivas tabelas de atributos e

metadados. Dessa forma, garante a integridade e organização das informações evitando a fragmentação de dados em vários arquivos auxiliares. Os arquivos disponibilizados pela instituição e utilizados neste trabalho são as bacias hidrográficas de nível 6 e 7 além da rede dos cursos d'água.

No ambiente QGIS, o plugin OpenTopography DEM Downloader permite acessar e realizar o download de diferentes bases globais de dados altimétricos recaindo a escolha sobre o NASADEM Global DEM, que apresenta melhorias no processamento dos dados originais da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e, posteriormente aprimorado pela National Aeronautics and Space Administratios (NASA). Segundo (Yogi; Stanganini, 2023) a qualidade de um MDE depende de sua precisão e da grandeza dos inevitáveis erros, visto que os MDEs são representações numéricas da superfície terrestre, dependendo da fonte dos dados, resolução espacial e escala de trabalho.

O critério de escolha para o modelo NASADEM foi a análise comparativa entre a capacidade de representação da superfície teórica dos diferentes modelos disponíveis e superfície real do terreno, quando comparado à observação direta da paisagem. Os municípios objeto deste estudo, por apresentarem relevo acidentado não podem prescindir da incorporação precisa das irregularidades de um levantamento mais acurado a partir de um MDE, permitindo interpretações mais consistentes da morfologia da bacia hidrográfica, favorecendo identificação de divisores de água e a análise eficiente da drenagem. Essa abordagem é necessária e relevante pois as variações altimétricas influenciam diretamente os processos hidrológicos e erosivos, contribuindo para uma compreensão mais precisa da dinâmica geo-hidroecológica da paisagem (Fernandes *et al.*, 2012).

No processamento do MDE foi necessária a aplicação da ferramenta *Fill Sinks* disponível no QGIS, com o objetivo de corrigir depressões artificiais presentes no modelo altimétrico. Conhecidas como *sinks*, essas depressões interferem na simulação do escoamento superficial, impedindo a continuidade do fluxo entre as células adjacentes. A utilização da ferramenta permite o ajuste dos valores altimétricos mínimos necessários para garantir a conectividade do escoamento, sendo etapa fundamental para análise hidrológica subsequente, como determinação de fluxo.

Por meio da ferramenta LDD (Local Drain Direction), determina-se a direção do fluxo superficial, procedimento que consiste na análise da variação altimétrica entre

células adjacentes do modelo, permitindo identificar a direção da maior declividade e, por consequência, o sentido preferencial de escoamento da água sobre a superfície do terreno. O resultado é uma matriz de direções de drenagem que representa o comportamento potencial do fluxo superficial, sendo etapa essencial para análise hidrológica como a delimitação das bacias hidrológicas e a extração da rede de drenagem natural.

Após essa etapa, temos a rede de drenagem e sua classificação segundo Strahler, que organiza os cursos d'água de acordo com a sua hierarquia. A ferramenta *lookup* permite a transformação das informações matriciais derivadas do modelo altimétrico em feições que representam os traçados dos cursos d'água, sendo importante contribuição para a análise superficial da drenagem e interpretação dos processos hidrológicos que estruturam a dinâmica da bacia. Nesse momento, obtemos o traçado no Rio Paranhana e seus afluentes, sendo de grande importância a determinação dos afluentes que cortam as zonas urbanas do município, como o Arroio Taquara no município de Taquara, Arroio Solitária e Koetz no município de Igrejinha, Arroio Moreira no município de Três Coroas e Arroio Funil em Parobé. A determinação destes cursos d'água e suas bacias hidrográficas são de grande importância para entendimento e tomada de decisões dos alagamentos nos municípios.

Finalizada a etapa de processamento do MDE no ambiente QGIS com a extração da rede hidrográfica, é possível avançar para a identificação de áreas potencialmente suscetíveis a alagamentos e inundações. Dentre vários métodos disponíveis para esse tipo de análise, destaca-se o Height Above Nearest Drainage (Hand) Model, desenvolvido por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Nobre *et al.*, 2016). Seu princípio normaliza um MDE calculando a diferença de elevação entre cada ponto de terreno e o canal de drenagem mais próximo. A superfície HAND resultante é derivada de uma rede de drenagem topograficamente extraída e fornece valores de elevação relativos que indicam suscetibilidade a inundações, referenciados ao ponto de drenagem local mais próximo. Na prática, quanto menor a diferença de altura entre uma célula do terreno e o canal de drenagem mais próximo, maior a suscetibilidade à inundação naquele local.

O fluxo de trabalho do modelo HAND envolve várias etapas: (i) correção DEM; (ii) determinação da direção de fluxo; (iii) cálculo do acúmulo de fluxo e; (iv) geração

da grade de 30,00m. Esta grade final calcula a elevação relativa de cada ponto para a característica de drenagem mais próxima, resultando em uma representação espacial de áreas em risco de inundação. Para esse trabalho, adotou-se um limiar de acumulação de fluxo de 5000 para definir a rede de drenagem, seguindo a abordagem de (Mengue *et al.*, 2017).

Após a computação do modelo HAND, o raster de saída foi reclassificado em classes de suscetibilidade a inundações de acordo com o método proposto por (Nobre *et al.*, 2016), baseado na elevação relativa entre o ponto e o canal de drenagem e inclui cinco categorias: muito alta suscetibilidade (0-1m); alta (1-2); média (2-3); baixa (3-4) e muito baixa (4-5m).

A aplicação do modelo HAND utilizando dados SRTM de resolução 30,00m permitiu a geração de um mapa de suscetibilidade a inundação para a bacia do Rio Paranhana e seus afluentes, nas zonas urbanas dos municípios Três Coroas, Igrejinha, Parobé e Taquara. O modelo delineou zonas com diferentes graus de suscetibilidade com base na elevação relativa do canal de drenagem mais próximo, podendo ser o Rio Paranhana ou os seus afluentes anteriormente citados. Áreas classificadas com suscetibilidade a inundações muito alta (0-1m) foram concentradas ao longo do Rio Paranhana e seus arroios afluentes que cortam as zonas urbanas, cujos alagamentos são frequentes. A suscetibilidade vai diminuindo progressivamente com o aumento da distância e elevação dos corpos hídricos.

O HANDMODEL forneceu uma representação em larga escala de potenciais áreas propensas a inundações dentro do modelo, principalmente onde a topografia continua sendo o controle primário sobre o fluxo de água superficial. Em setores de baixo relevo e densamente povoados, a capacidade do modelo se restringe, sugerindo a necessidade de entradas topográficas de maior resolução em avaliações futuras. Para estudos mais acurados, o uso do LiDAR oferece condições promissoras para melhorar as avaliações de risco de inundações.

A análise comparativa de precisão temática do modelo HAND de extensão de inundação foi feita com o evento de 2024. Os mapas de suscetibilidade de inundação destacam áreas de baixa elevação que se tornam críticas sob ocupação urbana, regularizada ou não, confirmando que a morfologia do terreno combinada com a urbanização é um dos principais impulsionadores do risco de inundação. De forma simultânea, os eventos climáticos extremos mais frequentes e de maior intensidade destacam a necessidade de estratégias abrangentes e integradas para melhorar a

resiliência urbana, alicerçando o planejamento urbano e a gestão de riscos com ferramentas desenvolvidas para esse fim e essenciais para adaptação e mitigação em áreas urbanas vulneráveis (Mengue *et al.*, 2017).

Devido as limitações de 30,00m da modelagem a partir do MDE NASADEM, comparativo a partir do MDE ALOS World 3D 30m apresentou um melhor resultado comparando com o evento climático de 2024. Justifica-se o melhor resultado porque o modelo tende a representar melhor a morfologia da superfície onde o relevo é mais acentuado. Se elaborar o MDE com o uso do LiDAR, o resultado pode melhorar a definição das variações topográficas finas críticas do mapeamento de inundações urbanas, resultando em uma base sustentável para o avanço de medidas de mitigação em regiões urbanas vulneráveis.

De forma sintética, o retorno no uso das ferramentas e metodologias aplicadas para a sustentabilidade urbana pode ser apresentado da forma apresentada no quadro 13:

Quadro 13: Resumo dos retornos para a sustentabilidade urbana

Ferramenta	**Entrada**	**Saída**	**Impacto no planejamento**
QGIS	Dados Multissetoriais	Mapas temáticos e GIS	Centralização de dados para tomada de decisão municipal
HANDMODEL	MDT/Altimetria	Modelo de Suscetibilidade	Definição de cotas de inundação e zonas “não-edificantes”
MDE+BIM	Nuvem de pontos	Gêmeo Digital	Construções que respeitam o fluxo natural das águas (drenagem sustentável)

Fonte: O Autor (2026)

4.3.2 Considerações sobre a modelagem da mancha de inundação nos municípios banhados pelo Rio Paranhana

A modelagem para os municípios banhados pelo Rio Paranhana no HANDMODEL está apresentada em código de cores, facilitando o entendimento visual da aplicação da lógica do modelo. Diferente de modelos que utilizam apenas a altitude

absoluta, o HAND calcula a distância vertical de qualquer ponto em relação ao canal de drenagem mais próximo. Normalizando a topografia, identifica áreas que, mesmo estando em altitudes elevadas, possuem baixas cotas em relação ao leito do curso d'água, tornando-as vulneráveis a inundações ou alagamentos. Por ser uma ferramenta de rápida execução, sua utilização é fundamental para municípios carentes de dados fluviométricos históricos mas que tem acesso a modelos digitais de elevação, como é o caso dos municípios em estudo.

A teoria da modelagem digital foi submetida ao teste máximo possível que é a comparação com o evento extremo de maio de 2024. A mancha de inundação do evento está disponível no geoportal RS Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais – IEDE e sobre ela foram sobrepostos os resultados da modelagem. Este evento serviu como o validador empírico para a eficácia da ferramenta utilizada, permitindo avaliar a aderência do modelo à realidade observada, servindo para a validação metodológica e para o aprimoramento das análises de risco hidrológico.

A modelagem está representada por cores e o código de cores utilizado para apresentação dos resultados está apresentado no quadro 14:

Quadro 14: Legenda de cores no HANDMODEL

Cor	Probabilidade
	Muito alta (0-1m)
	Alta (1m-2m)
	Média (2m-3m)
	Baixa (3m-4m)
	Muito baixa (4-5m)
	Evento 2024

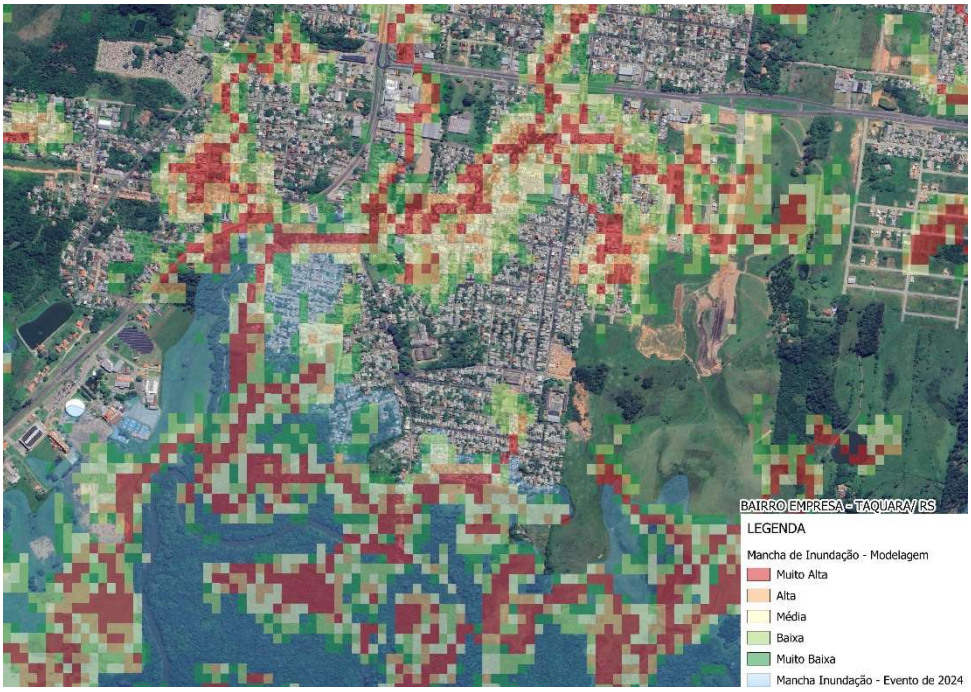
Fonte: O autor (2026)

Na sequência, apresenta-se a análise individualizada das zonas mais atingidas de cada município durante o evento climático extremo de 2024. Como facilitador de leitura e interpretação das figuras, limitei a uma figura por página.

A figura 15 mostra o município de Taquara com os resultados da modelagem sobreposta a mancha de inundação do evento de 2024. Visualmente, permite uma validação espacial rigorosa do modelo, onde a mancha vermelha, ao longo do Rio Paranhana, está totalmente inserida dentro da mancha de inundação. Pequenos

arroios como o Arroio Taquara e Arroio Tucanos encontram-se fora da mancha de inundação do evento e, na realidade, sofreram consequências neste evento específico apenas quando na proximidade com o Rio dos Sinos e Rio Paranhana, onde a elevação dos rios fez as águas ocuparem o seu leito de inundação. Mas isso não impede a avaliação dos riscos de alagamentos ao longo dos arroios, onde são verificados eventos onde a urbanização ocupou as áreas de várzea e, em ambientes ainda naturais, que são desconsiderados por não apresentarem prejuízos financeiros.

Figura 15: Mapa de inundação no município de Taquara – Bairro Empresa e Centro



Fonte: O autor

A figura 16 mostra o bairro Santa Maria totalmente submerso pela mancha de inundação do evento de 2024 e, sobre a camada o resultado da modelagem HANDMODEL, onde as proximidades do Rio Paranhana e dos cursos hídricos como o Arroio Muller apresentam probabilidade muito alta de inundação (0-1m). A modelagem apresenta probabilidade até as margens da ERS-115, o que de fato aconteceu e em alguns pontos na margem leste da rodovia, o que aconteceu junto ao acesso ao bairro Eldorado, isolando o bairro do restante da cidade, visto que o único acesso é junto a rodovia. Verifica-se nessa imagem grandes áreas ainda não urbanizadas e que são contribuintes ao bairro Santa Maria, que se localiza ao lado

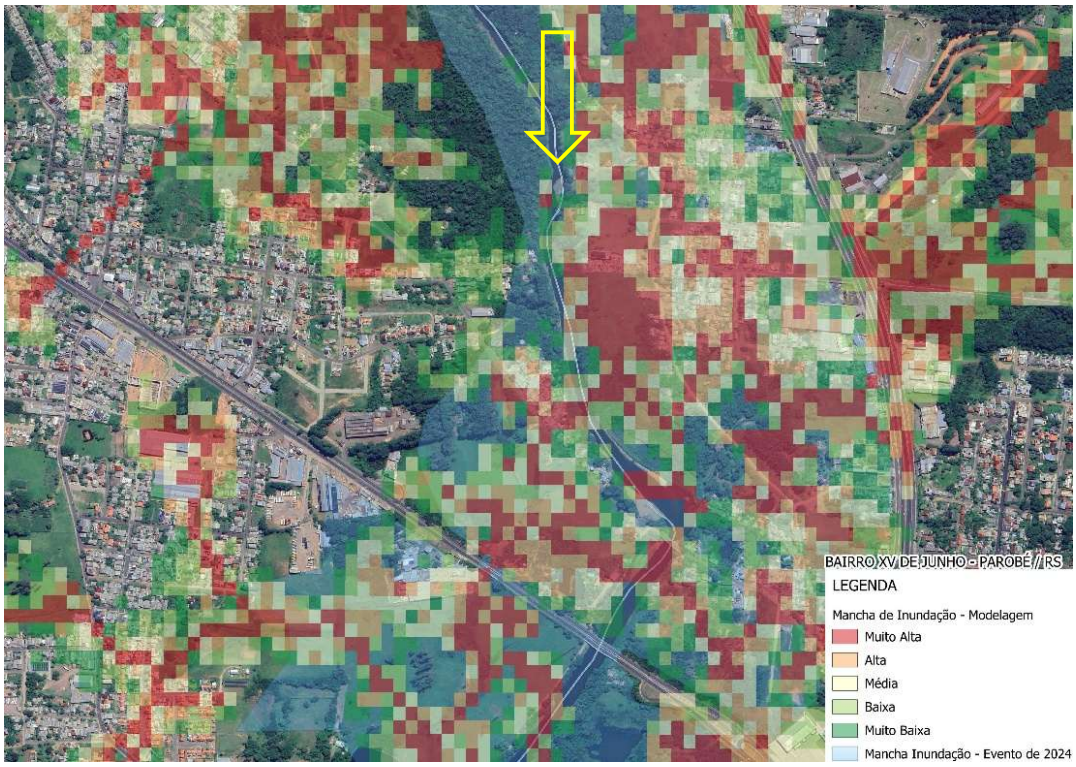
esquerdo da figura. A ERS-115 cumpre uma função além da ligação viária entre os municípios que é de um dique para as águas do Rio Paranhana mas também das águas que vem à montante, ainda não urbanizado. Em uma urbanização desordenada, mesmo legalizada, pode passar a ter problemas de alagamentos onde hoje não são percebidos.

Figura 16: Mapa de Inundação no município de Taquara - Bairro Santa Maria

Fonte: O autor (2026)

O município de Parobé, no bairro XV de Junho e parte do bairro Santa Maria em Taquara estão ilustrados na figura 17. Apesar de Parobé direcionar um crescimento urbano em direção ao rio, a ocupação urbana está no limite da mancha de inundação, tanto pela modelagem como pela mancha real do evento de 2024, mas apresenta questões de ocupação dos leitos de inundação do Rio Paranhana e de cursos d'água enfatizados pelo HANDMODEL.

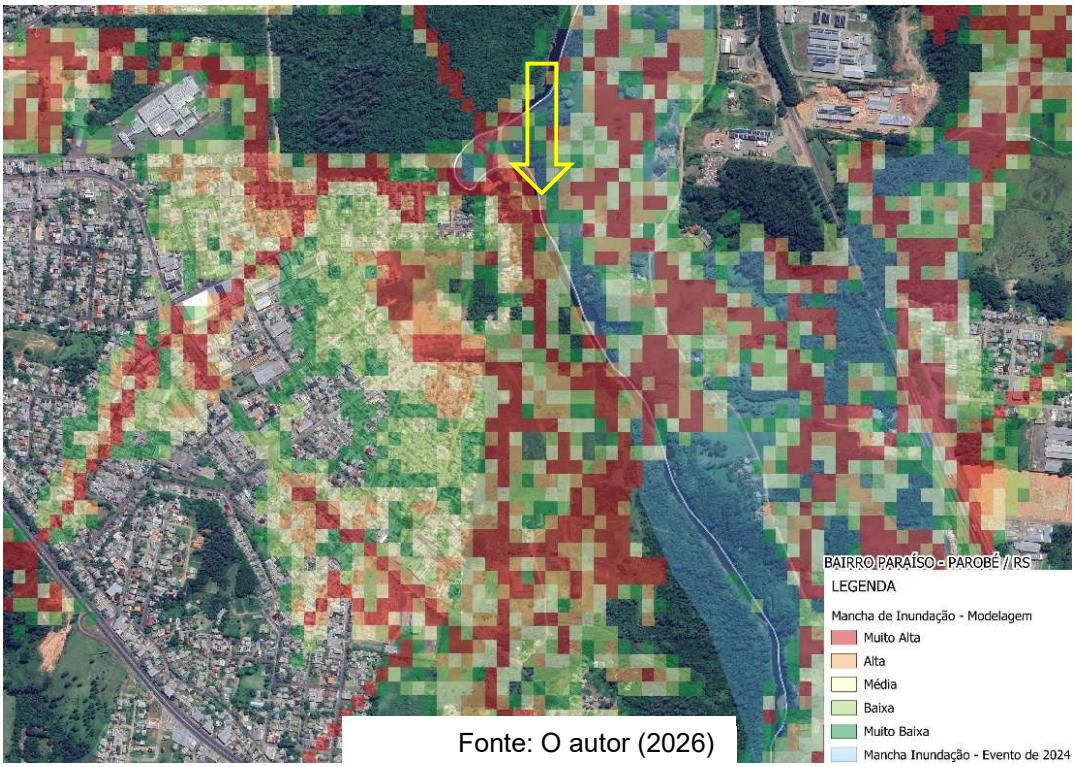
Figura 17: Mancha de inundação no município de Parobé - Bairro XV de Junho



Fonte: O autor (2026)

Da mesma forma no bairro Paraíso, a mancha de inundação delimita o espaço ocupado e, além do Rio Paranhana, os cursos d'água apresentam grande probabilidade de alagamentos urbanos, conforme figura 18. Apesar do evento de 2024 não atingir o bairro em toda a sua extensão, a probabilidade de inundação urbana é critica por chuvas intensas em curto período de tempo. Apesar de baixa probabilidade de inundação, pode ser considerada como recomendada como expansão urbana, tomando-se o cuidado para não ocorrer a saturação da infraestrutura urbana.

Figura 18: Mancha de Inundação no município de Parobé - Bairro Paraíso

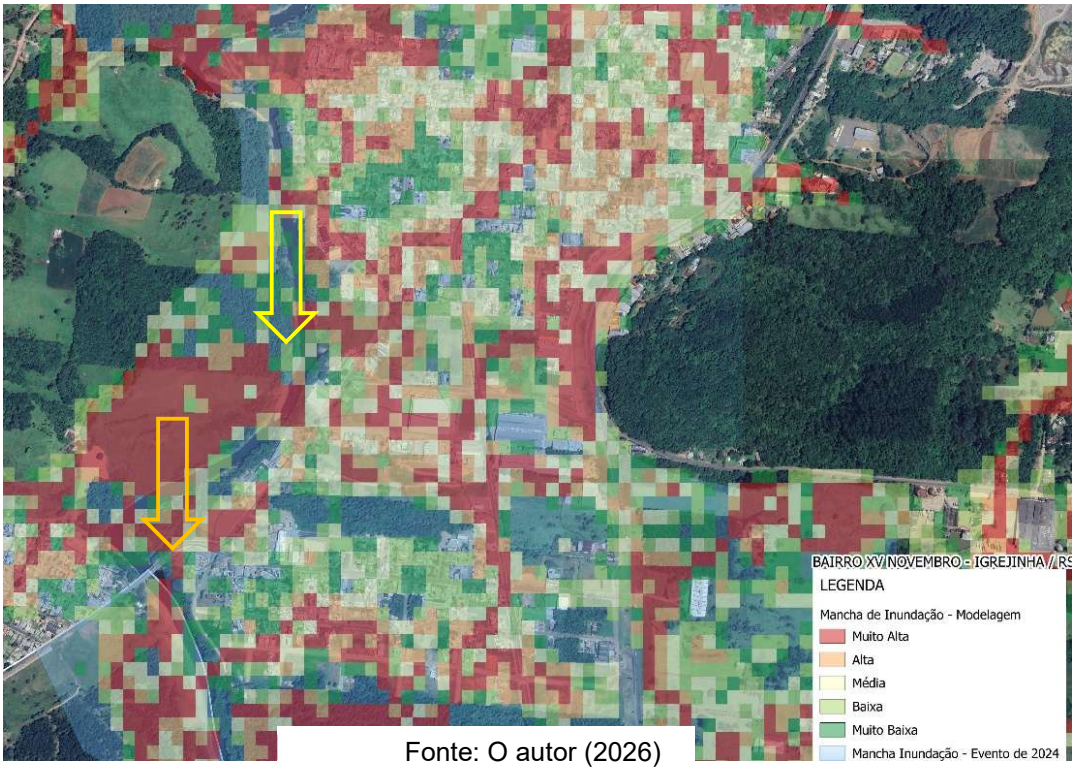


Fonte: O autor (2026)

No Bairro XV de Novembro – Igrejinha, ilustrado na figura 19, a sobreposição da modelagem sobre a mancha de inundação real foi validade em sua plenitude. Todas as faixas de inundação estão sobrepostas sobre a inundação. A seta laranja indica a ERS-115 e a modelagem abre um alerta para essa região pela alta suscetibilidade à inundações e alagamentos, seja pelo rio ou pelos seus afluentes.

Por ser uma região de várzea do Rio Paranhana, de relevo plano e com vários cursos d'água naturais canalizados ou retificados, foram considerados pelo MDE devido à topografia, mostrando que as chances de inundação pelo Rio Paranhana e de alagamentos por chuvas intensas de curta duração são reais e diagnosticada com precisão pela modelagem.

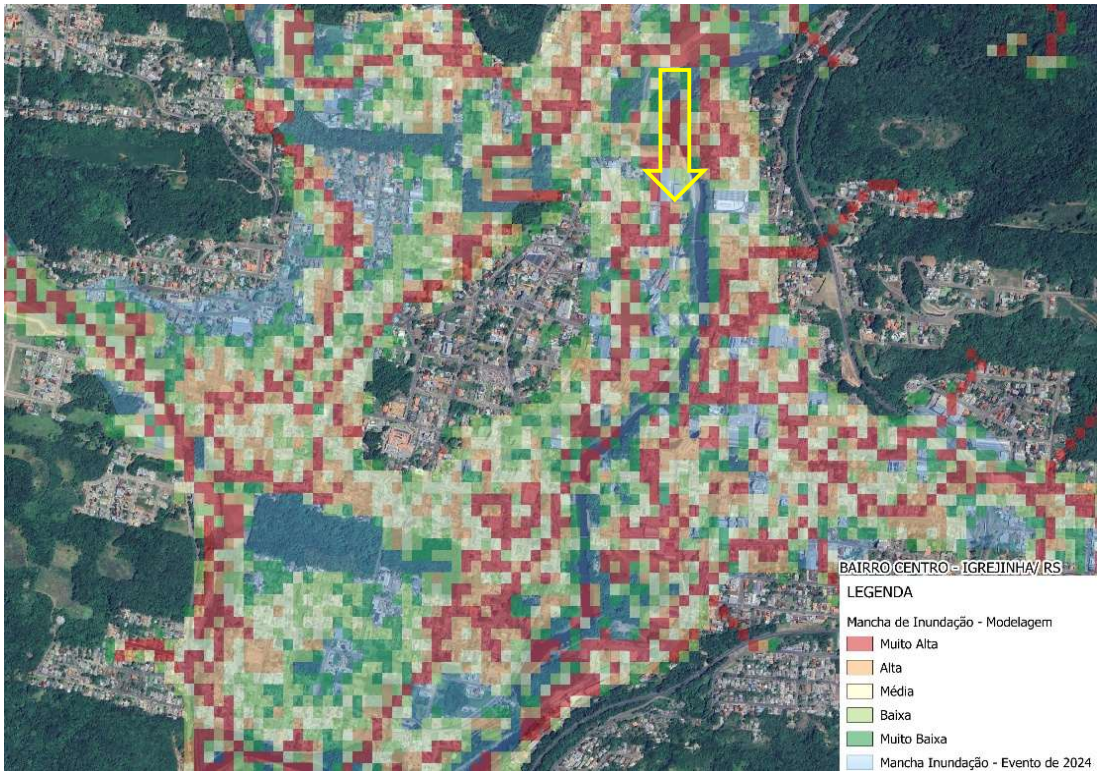
Figura 19: Mancha de inundação no município de Igrejinha - Bairro XV de Novembro



Fonte: O autor (2026)

A figura 20 mostra o Bairro Centro de Igrejinha onde a modelagem apresenta uma “ilha” não atingida pela mancha de inundação e pela modelagem, mas apresenta uma falha na modelagem no canto superior esquerdo, onde a mancha de inundação atingiu maior altura do que a detectada pelo modelo matemático. As áreas com moderado risco de alagamento e inundação, representadas nas cores amarela e verde foram ultrapassadas, devendo ser verificado no local o motivo para essa falha que pode resultar em grandes prejuízos quando do planejamento urbano do uso do solo.

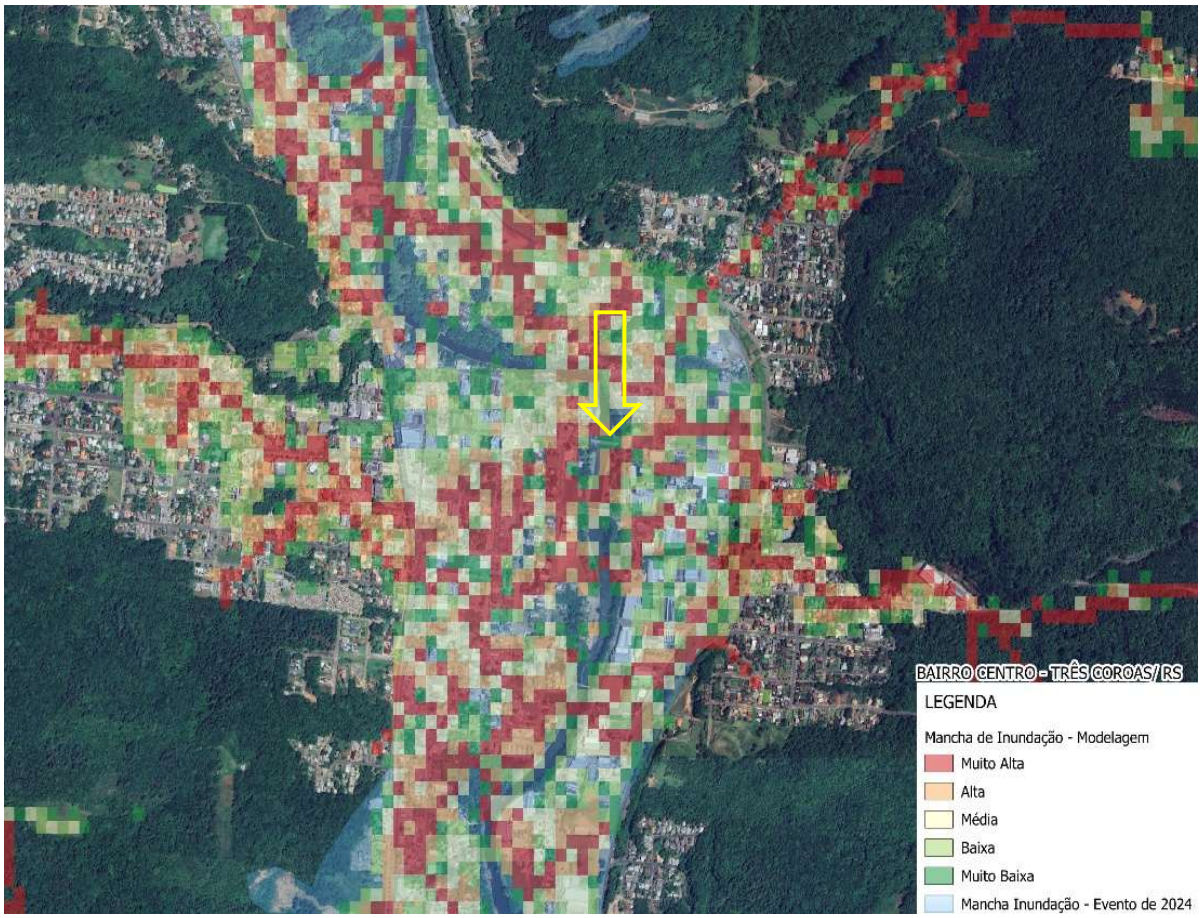
Figura 20: Mancha de Inundação no município de Igrejinha - Bairro Centro



Fonte: O autor (2026)

O município de Três Coroas apresentado na figura 21 com a seta indicando a posição do leito do rio, também reflete a exatidão do modelo frente a mancha real de inundação com o agravante de que, onde ocorre as maiores probabilidades se encontram as estradas de ligação do município. O planejamento urbano do município e a mobilidade urbana se confundem com o traçado do rio, que norteou o crescimento da urbanização da cidade.

Figura 21: Mancha de inundação no município de Três Coroas



Fonte: O autor (2026)

A análise comparativa entre a modelagem HAND e a mancha real de inundação nos municípios banhados pelo Rio Paranhana confirma a geografia humana e importância do curso d'água no crescimento e desenvolvimento destas cidades, principalmente Igrejinha e Três Coroas, que tem os bairros centrais assentados sobre o leito de inundação. Taquara possui uma ligação direta com o rio de forma menos afetiva pois a cidade está afastada das margens, tendo o centro se desenvolvido em torno do Arroio Taquara, que também apresenta frequentes alagamentos, trazendo prejuízos econômicos e sociais devido a eventos que, apesar de ser de curta duração impactam a infraestrutura e prejudicam a mobilidade. Parobé, que também teve seu núcleo inicial afastado do rio, trouxe o problema para dentro das suas preocupações

ao permitir o uso do solo em áreas inundáveis através de loteamentos principalmente nas décadas de 1990 e 2000, o que pode ser verificado nas imagens de expansão urbana. O objetivo desses loteamentos era o aproveitamento do eixo de ligação Taquara-Parobé a partir da Avenida das Nações, servida de infraestrutura básica – luz e mobilidade urbana através de transporte público.

O cenário observado nesses municípios revela uma perigosa dissociação entre a memória afetiva da ocupação territorial e a realidade morfológica atual. A história oficial nos conta que a colonização de Igrejinha e Três Coroas possui um viés romântico e atrelado ao Rio Paranhana, trazendo os imigrantes e, junto com seus afluentes, sendo o eixo de subsistência, Segundo (Gevehr; Kaspary, 2017), a partir do rio os imigrantes se tornaram “fabricantes de terras”, pelo desmatamento/desbravamento da floresta para produção de riquezas, principalmente gêneros alimentícios. E o transporte das riquezas, quando não se dá pelo rio, era feito por trilhas/picadas/estradas que margeiam o rio e após pelos trilhos de trem, cujos trilhos acompanhavam a margem do rio até Três Coroas e após acompanhava o Arroio Moreira, na linha que unia as cidades de Taquara a Canela. Com o final do serviços de transporte ferroviário e posterior retirada dos trilhos, o mesmo trajeto, agora viário para automóveis, tem início da Rua Tristão Monteiro em Taquara e, trocando as denominações nas divisas municipais, tem continuidade até atingir a cidade serrana de Canela.

Essa relação de proximidade que, por um período significou prosperidade e, no olhar da época, integração com a natureza consolidou um padrão de assentamento que, hoje, ignora os limites da morfologia do terreno. Na medida que o crescimento urbano aumentou e acelerou, o incipiente planejamento urbano distanciou-se da leitura técnica do relevo da área ocupada, permitindo a ocupação inicialmente por casas térreas. Hoje, os planos diretores municipais permitem os maiores índices de Taxa de Ocupação (TO) e Índice de Aproveitamento (IA) nas zonas de alta probabilidade de inundação mapeadas pelo modelo HANDMODEL e comprovadas pelo evento climático de 2024.

A dinâmica de urbanização em Parobé, por não possuir a ligação afetiva como Igrejinha e Três Coroas, apresenta nuances igualmente preocupantes sob a ótica de desenvolvimento urbano regional sustentável. Parobé apresenta um avanço deliberado da mancha urbana em direção ao Rio Paranhana, proporcionando ganhos

imobiliários amparados por índices construtivos de ocupação de solo elevados, permitindo uma ocupação do leito de inundação do rio.

Da mesma forma, em Taquara a permissão da ocupação do leito maior do Rio Paranhana possibilitou o crescimento do bairro Santa Maria a partir da Rua João Manoel Correa até as margens da RS-115, apresentando uma ocupação mista de industrias, comércio e residências. Apesar de apresentar um índice de aproveitamento (IA) único de 1,5 e taxa do ocupação (TO) máxima de 75%, o município de Igrejinha na mesma região e a montante de Taquara permite um índice de aproveitamento de 3,0 e uma taxa de ocupação de 85%.

A falsa de impeditivos ou restrições nos planos diretores para a ocupação das áreas identificadas na mancha de inundação nos quatro municípios cria um vácuo normativo que é rapidamente preenchido pela mancha de expansão urbana. A ausência de “cotas de segurança” baseada em MDE e GIS nas legislações municipais e o compartilhamento de informações sobre os níveis de inundações e alagamentos permitem que novos empreendimentos sejam aprovados em zonas de vulnerabilidade ambiental comprovada, ampliando os danos em áreas já ocupadas historicamente e que foram “incentivadas” pelo poder público inicialmente com implantação de ruas nos fundos de vale associadas a canalização dos riachos urbanos, tratando as inundações e alagamentos como eventos fortuitos e eventuais e não como característica da topografia local. O somatório do desconhecimento técnico de parte dos profissionais que atuam em urbanismo e drenagem, dos gestores públicos tomadores de decisões e da população ampliam esse cenário, favorecidos pelos índices estabelecidos pelos planos diretores e, ao mesmo tempo, indo contra os planos diretores que ordenam o crescimento e desenvolvimento sustentável (Tucci; Cruz, 2008).

A expansão urbana em áreas possíveis de riscos promovido pelo poder público e aprovado e, posteriormente reforçado pelo mercado imobiliário que pressiona por índices construtivos em áreas valorizadas pela infraestrutura existente ou para valorizar áreas e levar infraestrutura para zonas desprovidas dos serviços públicos resultam em ilhas ou núcleos urbanos dispersos sobre uma área frágil ambientalmente, mas não necessariamente rural. Áreas urbanizadas com infraestrutura inadequada ou insuficiente para receber um despejo de área urbanizada a montante também é considerada uma fragilizada. A ampliação de um perímetro urbano promovido pelo Poder Público sem o necessário Estudo de Impacto Ambiental ou a verticalização a partir do aumento do Índice de Aproveitamento é um “incentivo

involuntário oficial" à ampliação do problema de inundações e alagamentos devido a perda de áreas de infiltração e aumento do escoamento superficial (Lage, 2017; Pradella; Bueno, 2017).

Assim, a governança urbana torna-se refém de um modelo de crescimento que privilegia o lucro imobiliário sobre a resiliência territorial, alimentando um ciclo vicioso onde a própria Administração Pública Municipal, através da permissividade normativa, financia indiretamente o agravamento das catástrofes que, posteriormente, terá que remediar com recursos públicos escassos.

4.4 ZONEAMENTO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO REGIONAL NOS MUNICÍPIOS BANHADOS PELO RIO PARANHANA

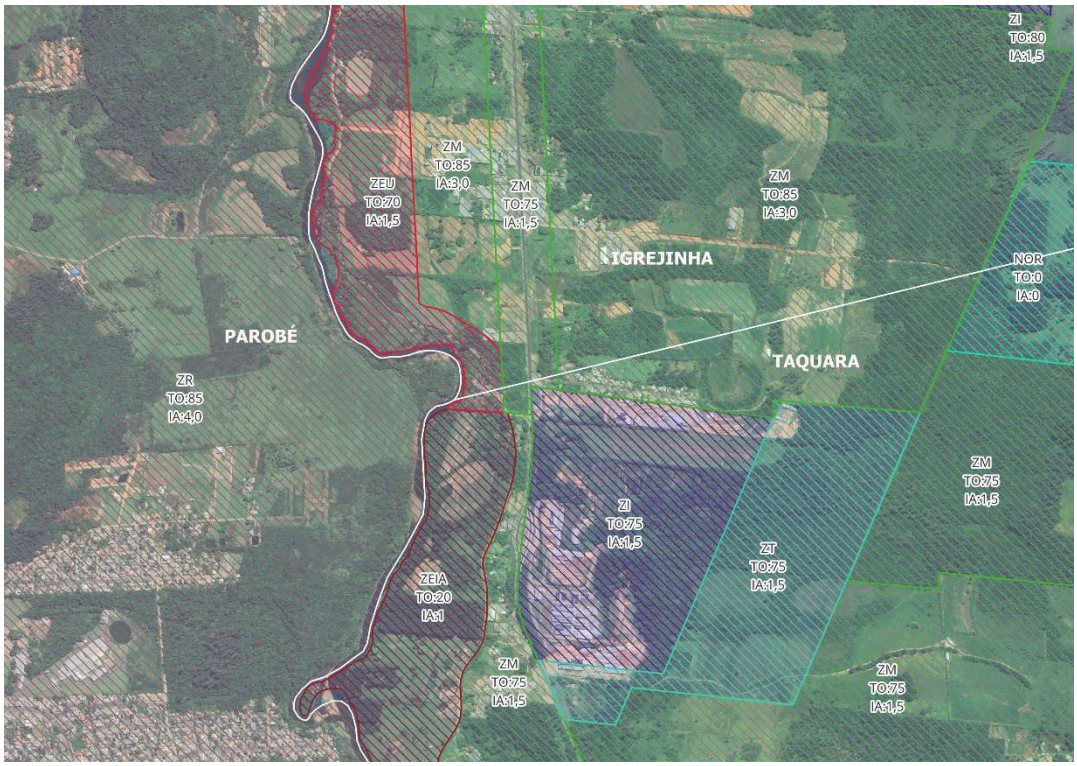
Com os quatro municípios enfrentando problemas de inundações por ocupar a planície fluvial do Rio Paranhana, fica evidente que existem limitações estruturais do planejamento territorial quando se observa sob a ótica regional e hidrológica. Os quatro municípios adotam instrumentos de uso e ocupação do solo formulados de forma isolada, baseados em planos diretores que não dialogam entre si, indo em sentido contrário aos princípios da função social da cidade e da propriedade urbana estabelecidos na Constituição Federal do Brasil de 1988 e pelo Estatuto da Cidade.

Os quadros 8, 9, 10 e 11 resumem os zoneamentos e parâmetros urbanísticos atualmente vigentes nos municípios e permitem identificar diferenças relevantes quanto à categoria de zoneamento, usos de solo permitidos e índices construtivos permitidos – taxa de ocupação e índice de aproveitamento. A leitura comparativa e as figuras 22 e 23 nos mostram que áreas inseridas na mesma unidade ambiental – planície fluvial do Rio Paranhana – são enquadradas de forma diferente pelos municípios, com variações de uso e índices construtivos. Verifica-se, por exemplo, zonas mistas e industriais, com índices construtivos altos, taxas de ocupação significativas e que incidem sobre áreas sujeitas a inundações recorrentes, sem restrições construtivas ou exigências que proporcionem a infiltração das águas de chuva no solo.

Analisando a figura 22 que apresenta as divisas dos municípios de Igrejinha, Parobé e Taquara e onde estão apresentados os zoneamentos e seus índices, nos parâmetros urbanísticos adotados de forma isolada por município é possível verificar a falta de harmonia normativa no contexto regional, onde a autorização de ocupação

intensiva ou a flexibilização de usos em áreas próximas ao rio produz impactos direto no município vizinho, principalmente a jusante do ponto considerado. Essa dinâmica reforça a compreensão de que o uso do solo, quando regulado de forma isolada e em escala municipal, é insuficiente para responder às complexidades ambientais quando considerado a bacia hidrográfica.

Figura 22: Divisa municipal Parobé-Igrejinha-Taquara



Fonte: o autor (2026)

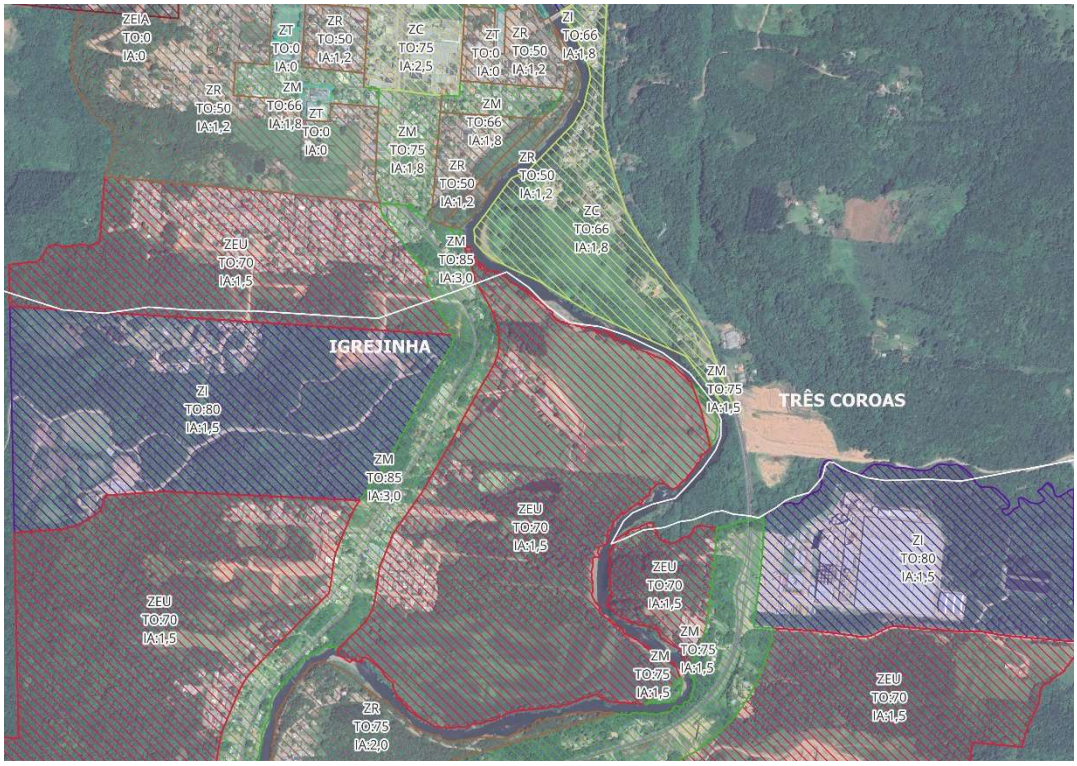
Enquanto o município de Taquara apresenta, na divisa com o município de Igrejinha uma taxa de ocupação de 0,75 e um índice de aproveitamento igual a 1,5 em um zoneamento misto e industrial, Igrejinha possui um zoneamento misto com taxa de ocupação de 0,85 e índice de aproveitamento igual a 3, além de uma zona industrial com taxa de ocupação de 0,80 e índice de aproveitamento de 1,5. A jusante dessas áreas, os dois municípios apresentam um zoneamento misto, onde hoje, na prática, está consolidado o uso residencial. Nos dois municípios, nas margens do rio Paranhana, está previsto uma área de proteção, o que não ocorre do outro lado do

rio, no município de Parobé, com um zoneamento misto, com taxa de ocupação de 0,85 e índice de aproveitamento igual a 4.

Junto aos mapas interativos dos dois municípios que disponibilizam esses serviços – Igrejinha e Taquara, que permitem analisar relevo e hidrografia em conjunto com a ocupação do solo, verifica-se que, com os números indicados acima, ocorrendo a ocupação do solo dentro do máximo permitido, aumenta a probabilidade de que as zonas mistas localizadas ao oeste da ERS-115 terem a sua vulnerabilidade aumentada, indo ao contrário do aumento da resiliência buscado pelas administrações dos municípios.

Entre Igrejinha e Três Coroas a situação não se altera conforme se observa na figura 23, com taxa de ocupação igual a 0,85 e índice de aproveitamento igual a 3 para os dois municípios. A montante, junto ao rio Paranhana, Três Coroas diminui as taxas, mas é uma região já urbanizada e com um mercado imobiliário não atrativo, permanece as construções existentes, com uma valorização apenas no entorno do rio e da avenida que liga os dois municípios.

Figura 23: Divisa entre municípios Três Coroas e Igrejinha



Fonte: o autor (2026)

Do ponto de vista do desenvolvimento regional, a análise dos quadros 8 a 11 faz perceber que a regulação municipal dos territórios dos zoneamentos e seus índices é fragmentada e competitiva, priorizando estratégias locais de expansão urbana e econômica em detrimento de uma visão colaborativa de ordenamento territorial. Apesar de dar nome ao vale, o rio Paranhana não estrutura um território regional, sendo tratado apenas como um limite administrativo e não como um eixo ambiental que preconiza o planejamento articulado das políticas públicas de interesse comum. A própria intensificação da ocupação da mancha urbana a partir da década de 1980 e ampliada na década de 2000, contribuiu para a consolidação de um território vulnerável, onde os impactos gerados pelas inundações são socializados regionalmente enquanto os benefícios da urbanização são concentrados localmente.

A análise articulada das legislações municipais e a mancha de inundação apresentado no Quadro 7, demonstra que o desenvolvimento regional da bacia do rio Paranhana está dissociada da lógica hidrológica do território, exigindo do modelo adotado a incorporação efetiva do ordenamento territorial tendo a bacia hidrográfica como delimitador, compatibilizando os índices de uso do solo e aplicação de políticas públicas regionais, de modo a reduzir os riscos e consequentemente aumentar a resiliência urbana, almejando um desenvolvimento regional sustentável do ponto de vista ambiental.

4.5 REGULAMENTAÇÃO DO SUDS

Entre os quatro municípios objeto deste estudo, o único município que possui uma legislação que regulamenta o SUDS é Taquara que, com a Lei Municipal 6131/2018 estabelece limite de vazão de águas pluviais nos empreendimentos e parcelamentos de solo urbano que resultem em superfície impermeável, limitando a vazão de contribuição na rede pública em 21,5L/s.ha (litros por segundo por hectare). A lei conduz para que os empreendimentos adotem reservatório de detenção e beneficia o empreendedor que optar pelo retardo e infiltração no solo.

No texto do Plano Diretor de Taquara, ao pesquisarmos sobre a palavra “infiltração”, encaminha para o artigo 32, que trata das diretrizes específicas da política de sustentabilidade ambiental e infraestrutura e, no inciso IV, trata do controle de inundações com o uso de infiltração e armazenamento dos excessos de água da chuva para compensar os efeitos da urbanização. O anexo 5.1 do Plano Diretor de

Taquara apresenta os índices construtivos, tendo uma taxa de ocupação que varia de 60 a 75% e, para a palavra “permeabilidade” a taxa é de 7%, podendo ser eliminada caso use (i) telhados ou fachadas verdes; (ii) jardins de chuva; (iii) cisternas e sistema de captação e reaproveitamento da água da chuva; (iv) reservatório de retardo ou outros elementos de contenção das águas pluviais; (v) se enquadrar na Lei 6.131/ 2018 - que estabelece limitação de vazão de águas pluviais nos empreendimentos e parcelamentos de solo urbano que resultem em superfície impermeável.

Anterior à promulgação da Lei Municipal em Taquara, alguns empreendedores da construção civil já se utilizavam da técnica do telhado azul, criando um reservatório de detenção na própria cobertura da edificação e, após determinado volume armazenado, tinha início o lançamento na rede pública de drenagem dentro do limite estabelecido, havendo situações onde o reservatório de detenção, na laje de cobertura, é utilizado como área condominial para lazer. Em outros casos, como gerador de energia ou para locação para antenas de telefonia. O uso de telhados verdes e bacias de retenção também são observados em algumas edificações, perfeitamente adaptadas ao ambiente que os cerca e, quando instalados em espaços públicos, perfeitamente integradas ao paisagismo e fazendo parte dos cartões postais do município.

No município de Igrejinha também existe situações de telhado verde isoladas. Os municípios de Três Coroas e Parobé não se percebe movimentação imobiliária no sentido de criar esses espaços. Em busca no site Leis Municipais – www.leismunicipais.com.br - onde o município de Igrejinha mantém o seu arcabouço de leis aprovadas, utilizando a palavra “pluvial” como palavra-chave, direciona para a Lei Complementar 006/2020 que dispõe sobre a política local de desenvolvimento territorial e reinstitui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental – PDDURA – do município de Igrejinha. O artigo 91, dentro do capítulo destinado a Loteamentos, inciso VIII trata como responsabilidade do loteador a execução do sistema de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário de acordo com as diretrizes técnicas do Executivo Municipal. Em pesquisa realizada no dia 23 de novembro de 2025, não existia nenhum ato que alterasse a lei.

A mesma pesquisa, para o município de Parobé, leva para a Lei Municipal 827/1993, que dispõe sobre parcelamento do solo urbano e dá outras providências e, no seu artigo 16, alterado pela Lei Municipal 1988/2002, trata da obrigatoriedade do

loteador construir a rede de drenagem pluvial, dentro das especificações dadas pela municipalidade.

O município de Três Coroas não se comporta diferente dos demais. Na mesma pesquisa efetuada, direciona para a legislação municipal de parcelamento do solo, Lei Municipal nº 480/81 no artigo 8º dispões sobre a execução das redes de drenagem e no artigo 16, instrui para a aprovação de projetos o projeto de esgoto pluvial. Nota-se que o município trata a drenagem pluvial é tratada como “esgoto”.

Alterando a pesquisa para palavras de busca como “infiltração” e, na falta desta “ocupação”, de forma a referenciar se o município legisla sobre área de infiltração no lote e qual a taxa de ocupação que o município adota na sua área urbana.

Para o município de Igrejinha, em busca no plano diretor do município – LM 006/2020, a palavra infiltração trouxe resposta na definição para “jardim de chuva”. Na palavra “ocupação”, remete para a LM 007/2021 que trata da taxa de ocupação, que varia de 70% a 85%. O município adota a Taxa de Permeabilidade que pode variar de 10 a 30% ou adoção de dispositivos sustentáveis. Os valores alteram a depender do zoneamento previsto no plano diretor.

Parobé, não tem resposta para a palavra “infiltração” e para “ocupação” remete para a Lei Municipal 3.173/2012 que altera o quadro I da Lei Municipal 1840/2001, adota um índice de taxa de ocupação que varia de 60% a 90%, a depender do zoneamento.

Em Três Coroas, o Plano Diretor do município, instituído pela Lei Municipal 3.616/2016, não apresenta resultados para a palavra “infiltração” e para ocupação, remete para o anexo 4.1 da Lei, alterado pela Lei Municipal 4.423/2023 que dispõe sobre os índices construtivos do município e varia de 66% a 85%. Aplica o conceito de taxa de cobertura vegetal correspondente a 10% da área do terreno, onde 50% dessa área pode ser revestida por pavimento permeável.

Portanto, com exceção do município de Parobé, todos os municípios apresentam algum elemento que encaminha para o uso de SUDS através da infiltração, sendo que Taquara é o único que apresenta legislação específica, anterior ao plano diretor em vigor e para a qual existe um direcionamento para a sua aplicação. Igrejinha adota um percentual maior de taxa de permeabilidade que pode ser substituído por dispositivos sustentáveis mas não é explícito na sua aplicação e Três Coroas, o percentual da área permeável pode ser substituído por pavimento permeável em até 50%. Nos municípios que aplicam o conceito de SUDS, o técnico

responsável deve apresentar estudo técnico comprovando a efetividade do dispositivo e a redução no impacto do empreendimento no sistema de drenagem municipal. A obrigatoriedade do uso de SUDS em qualquer tipologia de empreendimento e parcelamento de solo se dá apenas em Taquara, com Igrejinha e Três Coroas apenas para edificações, com o uso de infiltração, não definindo critérios técnicos..

Silva *(*2024) cita os aspectos legais que envolvem a gestão das águas urbanas são:

a) Resolução 357 do CONAMA, que estabelece os critérios de enquadramento dos rios como metas de qualidade da água(Silva *et al.*, 2024);
b) Lei de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997) que estabelece que estão sujeitos a outorga todas as ações que alterem de quantidade e qualidade da água, bem como o lançamento de efluentes em corpos hídricos;
c) Lei de Saneamento (Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 atualizada pela Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020) que define que a gestão das cidades deve atender aos preceitos da Lei de Recursos Hídricos no seu Plano de Saneamento Básico.

A questão de saneamento básico atua sobre o lançamento de efluentes, onde os quatro municípios não possuem tratamento de esgoto doméstico, fazendo uso de sumidouros ou tratamento primário e secundário com lançamento em rede de drenagem pluvial. As normativas para lançamento de drenagem pluvial nos corpos hídricos inexistem, ignorando os impactos das águas pluviais e sua poluição difusa sobre os recursos hídricos a jusante do território de onde foram lançados. Nos quatro municípios objetos do estudo, a gestão da drenagem é feita de forma isolada, sem compatibilidade com os municípios vizinhos, não possuindo regulação sobre o aumento do escoamento pela urbanização, mesmo onde existe legislação para tal.

4.6 PRECIFICAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO DE SUDS

A legislação dos quatro municípios impõe o SUDS em edificações como área permeável e, no município de Taquara, pela Lei Municipal 6131/2018 limita a vazão a ser lançada para jusante. Em todos os casos, o custo financeiro recai para o empreendedor enquanto o município se vale das soluções adotadas pelo empreendimento para prolongar a vida útil da tubulação de drenagem existente. O

que se vê nos condomínios são áreas gramadas utilizadas como jardim ou área de convivência que promovem a permeabilidade do solo apenas da água que cai sobre ela, ficando o resto da edificação lançando diretamente as águas coletadas para a rede pública. Em loteamentos, apesar da exigência da lei, ainda não se verifica a construção das estruturas de contenção e infiltração no município de Taquara, que faz parte da infraestrutura a ser construída pelo empreendedor.

Lançada a pergunta: quanto custa implantar SUDS no empreendimento e como se valoriza o empreendimento com a construção da infraestrutura? Para precificação do uso de SUDS, não existe uma resposta que contemple todas as formas de pensar, mas a certeza de que não existe prevalência do valor financeiro sobre o benefício civil. O que prevalece depende do ponto de vista da análise, onde pode-se tomar como exemplo a viabilidade privada versus política pública, horizonte temporal, instrumento de decisão (concessão pública, plano diretor, política de incentivos). Olhando pelo lado privado, sobressai o olhar sobre o financeiro e tempo de retorno para o investimento. Em política pública e no planejamento urbano, benefícios socioambientais justificam as intervenções no mobiliário urbano, mesmo que o retorno financeiro seja longo e a visualização sobre os ganhos políticos são de curta duração (Vincent *et al.*, 2017).

As diversas legislações existentes fazem recair sobre os empreendedores o custo das medidas compensatórias pela impermeabilização do solo, independente se for edificação industrial, comercial ou residencial unifamiliar ou multifamiliar. Quando se trata de edificações individuais ou condomínios, o custo das medidas voltadas à sustentabilidade – construção de telhados verdes, pavimentos permeáveis, reservatórios de detenção ou retenção, é do proprietário que investe no imóvel, próprio ou incorporação, mas o benefício é indireto, atingindo o entorno a jusante da edificação e não a edificação em si. Em loteamentos e condomínios de lotes, a lógica econômica é mais complexa: pela Lei Federal 6766/79, o empreendedor é responsável pela implantação de toda a infraestrutura de drenagem, incluindo sistemas sustentáveis solicitados por leis municipais, mas os benefícios gerados por essas intervenções ficam a jusante dos limites do empreendimento e alcançam a municipalidade a jusante. Assim, a precificação dos SUDS em edificações individuais ou loteamentos envolve a discussão sobre compartilhamento de custos, mecanismos de compensação e incentivos públicos, uma vez que o impacto positivo desses sistemas é sentido em escala urbana, enquanto os investimentos financeiros são

concentrados no empreendedor. Esse entendimento é fundamental para estruturar modelos de precificação e bonificação coerentes, justos e alinhados ao interesse público.

As quatro cidades objeto deste estudo possuem um mercado imobiliário limitado. A verticalização é dada por movimentos isolados, com poucas incorporadoras atuando no mercado de condomínios residenciais verticais. Além disso, o mercado imobiliário nas zonas centrais e urbanisticamente consolidadas não é atrativo para novos empreendimentos pelo alto custo do lote, mantendo a paisagem constituída de edificações baixas até quatro pavimentos e, não raro, antigas que necessitam de reformas para alterar o uso, passando de residencial para comercial. E, nesse caso específico de retrofit, caso não exista alteração de área construída no lote, o imóvel não será atingido pela legislação quanto a exigência de soluções sustentáveis para drenagem urbana.

Além da construção, existe a condição de manutenção do sistema. De nada vale a construção se, quando necessário, não operar a pleno. Então, ao longo do tempo, essa discrepância entre o econômico do incorporador frente aos benefícios da política pública traz para o debate a questão: por que um empreendedor investiria em um sistema se ele próprio não irá se beneficiar dele, onerando o empreendimento ao longo do tempo?

A literatura acadêmica apresenta alguns estudos e cases internacionais e nacionais que propõe formas para tornar o SUDS atraente em empreendimentos imobiliários, seja edifícios ou loteamentos, como as abaixo listadas:

a) Malinowski (2020) apresenta políticas públicas municipais nos Estados Unidos que proprietários que constroem SUDS em seu imóvel seja beneficiado com créditos na taxa de drenagem com a finalidade de colaborar no processo de manutenção do sistema;
b) William (2017)traz a gamificação para dentro da construção de SUDS em propriedade privada, onde o proprietário que promove o retrofit com soluções sustentáveis recebe benefícios maiores, viabilizando o empreendimento;
c) Fu *(*2019) propõe uma “compra” e “venda” de créditos para outros lotes onde não é possível a implementação de SUDS. Esse modelo se torna aplicável em regiões já consolidadas com edificações históricas e, o empreendedor-retrofitador será recompensado financeiramente pela incorporação de

SUDS considerando não apenas seu imóvel mas o entorno no qual está inserido ou o contrário, preservando outra área mais propícia para o SUDS em detrimento do seu empreendimento;

d) Brown (2017) apresenta relatório de políticas públicas que motivam a instalação de controles de águas pluviais, oferecendo redução de custos, ganhos financeiros ou apoio a programas/projetos. As abordagens na implantação de SUDS nos projetos são quantificados como moedas ou “créditos” para mitigar ou compensar os requisitos complementares, flexibilizando para as partes regulamentadas e criando um incentivo para criação de métodos novos e mais econômicos para redução da poluição e no controle das águas pluviais;
e) Cousins (2025) mostra que o uso de “stormwater utility fees” ou taxa de serviços públicos de águas pluviais são insuficientes, tornando-se um custo para o contribuinte e insuficientes para a administração pública para promover mudanças de grande porte e sustentáveis. Aborda para que o município invista em SUDS privados e compartilhe poupanças com os proprietários, em um sistema de cofinanciamento.
f) O uso da taxa de serviços públicos de águas pluviais, cobrada em alguns municípios do Brasil é abordada por Vicente (2024), mostrando diversas formas de cobrança e seus resultados práticos que mostrem a evolução dos serviços na eficiência da prestação de serviços;
g) Gomes (2020) analisa na cidade de Ouro Preto a aplicação de descontos no IPTU para adoção de medidas ambientais teve baixa adesão dos contribuintes quando o motivo do desconto é a captação das águas de chuva, por motivos do baixo custo da água potável e por falta de hidrometração no consumo de água.

Todos os autores entendem que a implantação de SUDS em empreendimentos de forma a alcançar a maior eficiência e desempenho será através de instrumentos econômicos, apesar das barreiras políticas e legislações que limitam ou dificultam o seu uso. Como exemplo das limitações Brown (2017) listou:

a) Capacitação técnica: muitos dos municípios não possuem profissionais para análise dos sistemas e atualização dos dados para análises futuras;

b) Ferramentas e recursos técnicos: como atualização profissional em análise de empreendimentos, atualização na legislação e aplicação de novas estratégias em programas de drenagem urbana sustentável;
c) Tamanho do mercado: a movimentação do mercado imobiliário restringe o potencial do mercado de crédito para implantação de SUDS em empreendimentos imobiliários
d) Quantificação: não existência de métricas para medir a eficiência dos sistemas construídos para impor condicionantes para novos empreendimentos. A quantificação é reflexo dos itens I e II acima citados, onde a falta de uma metodologia de análise podem levar ao descrédito da política pública.

Tendo o entendimento que a implantação de SUDS é vantajosa na mitigação de inundações além de benefícios colaterais que incluem redução das ilhas de calor, melhora na qualidade do ar, diminuição da poluição dos cursos d'água e apoio a diversidade, a falta de medidas oriundas de políticas públicas direcionadas efetivamente a sua obrigatoriedade de construção, lacunas regulatórias em legislação, falta de fiscalização efetiva e consciência pública limitada abrem espaço para vozes contrárias ao movimento. Para superar essa condição, os governantes devem contrapor novas formas de governar o território apresentando políticas públicas de incentivos fiscais, integração obrigatórias de tecnologias verdes em novos empreendimentos, visualizar, buscar e propor parcerias públicas para aumentar a escala de alcance do SUDS, saindo da aplicação em empreendimentos privados e partindo para o espaço público, aumentando a adaptação climática da cidade e região aos novos critérios de sustentabilidade (Osawa *et al.*, 2025).

5 USO DOS ÍNDICES CONSTRUTIVOS COMO ESTRATÉGIA DE INCREMENTO DA RESILIÊNCIA

O aumento dos danos ambientais, sociais e econômicos decorrente dos eventos climáticos extremos e associados às mudanças climáticas traz novos desafios às administrações públicas no que se refere a planejamento urbano municipal e ao desenvolvimento regional, sobretudo em territórios estruturados a partir do elemento rio. O vale do Rio Paranhana que abrange as cidades de Três Coroas, Igrejinha, Parobé e Taquara possuem estreita ligação com o rio e a recorrência de inundações,

alagamentos e processos de movimentação de massa mostra a necessidade de uma abordagem integrada entre planejamento urbano, infraestrutura urbana e Defesa Civil.

Resiliência do ambiente construído assumiu um papel estratégico como base das políticas públicas territoriais, deixando de ser apenas uma diretriz conceitual. Como preconiza o Marco de Sendai, a redução de riscos e desastres é dependente da incorporação da gestão de riscos no ordenamento de uso do solo, condicionando os índices construtivos à capacidade da infraestrutura urbana e à dinâmica ambiental da bacia hidrográfica do Rio Paranhana. O gerenciamento de riscos e desastres, administrado pela Defesa Civil é um processo social que visa prever a redução e o correto controle permanente dos principais fatores que originam os desastres e construir territórios sustentáveis. Para isso, a Defesa Civil deve incorporar profissionais com conhecimentos técnicos das manifestações patológicas encontradas nas edificações e áreas de risco. Na impossibilidade de ter esses profissionais em tempo integral, a solicitação de apoio para esses profissionais capazes de compreender os riscos iminentes podem efetivar medidas de segurança com o intuito de evitar desastres (Santos; Castañon, 2022).

Em 2010, foi lançada pelo Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNISDR/ONU) a campanha “Construindo Cidades Resilientes-Minha Cidade está se preparando”, abordando questões de governabilidade local e risco urbano e objetivando aumentar o perfil da resiliência e redução de riscos de desastres entre os governos locais e comunidades urbanas de todo o mundo. Na campanha foram apresentados 10 princípios para construir cidades resilientes, sendo eles: (i) organizar para a resiliência e catástrofes; (ii) identificar, compreender e usar cenários de riscos atuais e futuros; (iii) fortalecer a capacidade financeira para a resiliência; (iv) prosseguir com o design e desenvolvimento urbano resiliente; (v) proteger as zonas naturais para melhorar as funções protetoras oferecidas pelos ecossistemas naturais; (vi) fortalecer a capacidade institucional para a resiliência; (vii) compreender e fortalecer a capacidade social para a resiliência; (viii) aumentar a resiliência das infraestruturas; (ix) garantir a preparação e a resposta eficazes a catástrofes e; (x) acelerar a recuperação e reconstruir melhor (Bruel *et al.*, 2022; Santos; Castañon, 2022).

Tratados inicialmente como números percentuais com interesse exclusivo do mercado imobiliário local, a Taxa de Ocupação, o Índice de Aproveitamento e a Taxa

de Permeabilidade constituem os principais instrumentos de planejamento, regulando a intensidade de ocupação do solo, densidade construtiva e áreas livres permeáveis nos lotes urbanos. A partir da campanha promovida pela ONU “Construindo Cidades Resilientes-Minha Cidade está se preparando” e também pelo Estatuto das Cidades, a definição foi atualizada e os índices passaram a ser vistos como elementos que influenciam diretamente a resiliência das cidades frente a eventos climáticos extremos e pressões ambientais, deixando de ser mecanismos de controle morfológico das cidades e passando a desempenhar um papel estratégico ambiental, ao ampliar a capacidade dos sistemas urbanos de absorver, adaptar e responder a impactos decorrentes das mudanças climáticas, principalmente em eventos de chuvas intensas (Lima *et al.*, 2020; Vieira; Isensee; Claudino, 2020).

5.1 ANÁLISE CONJUNTA TO x IA

A combinação dos índices Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento definem a cidade como elemento físico, resultado do mercado imobiliário local. A TO regula a ocupação horizontal do lote, agindo diretamente sobre a proporção impermeabilizada do lote enquanto o IA atua sobre a intensidade construtiva, influenciando a densidade urbana, influenciando a densidade populacional urbana e pressionando a área de serviços e infraestrutura. São parâmetros urbanísticos definidos nos planos diretores, onde o município exerce sua competência de ordenar o uso do território, configurando o crescimento imobiliário como resultado de decisões normativas mas que não refletem as dinâmicas econômicas e demandas do mercado imobiliário, maiores influenciadores na forma, intensidade e localização da expansão urbana (Berghauser Pont *et al.*, 2021; Queiroz Neto; Ribeiro; Vargas, 2016).

A combinação entre os índices pode ser expressa como o quadro 15 onde, de forma empírica, conclui-se que o resultado mais equilibrado é a combinação de IA elevada acompanhada de TO restritivo. Dessa forma, o adensamento populacional é permitido, a oferta de serviços e de infraestrutura ocupam uma área menor sem comprometer a permeabilidade do solo e o conforto ambiental.

Quadro 15: Possíveis resultados da combinação TO e IA

Alta TO e baixo IA	Tende a resultar em edificações baixas e extensivas, diminuindo a permeabilidade do solo
Baixa TO e alto IA	Estimula a verticalização, com maior oferta de espaços livres e verdes, privativos do lote mas com influência no microclima local
Alta TO e alto IA	Cidade densa, com grande pressão ambiental e sobre a oferta de serviços e infraestrutura
Baixa TO e baixo IA	Edificações baixas, com tendência a pressionar o crescimento para as periferias, resultando em pouca eficiência dos serviços de infraestrutura

Fonte: o autor (2026)

Sob a ótica da hidrologia, associa-se a TO com a impermeabilização do solo, aumentando o volume do escoamento superficial, o que faz antecipar e ampliar picos de cheias em bacias urbanas que resultam em alagamentos urbanos, formalizando que a infraestrutura está sobrecarregada e necessitada de investimentos para voltar a cumprir sua missão, reduz as áreas de recarga do lençol freático pela diminuição da infiltração das águas no solo e diminuindo a qualidade ambiental do território. Apesar da IA não atuar diretamente sobre a impermeabilização, quando elevada e combinada com uma TO permissiva, potencializa o uso do solo e induz a maior ocupação dos lotes ao longo do tempo, ampliando os impactos decorrentes das inundações e alagamentos (Villanueva *et al.*, 2011).

Alagamentos urbanos são fenômenos sistêmicos, resultado da impermeabilização do solo, topografia, capacidade de transporte da rede de drenagem e ocupação do solo. Inundações constituem fenômenos recorrentes em cidades implantadas ao longo de cursos d'água onde as planícies de inundações foram ocupadas e é resultado da interação entre processos hidrológicos e ocupação intensiva dessas áreas. Regiões periféricas combinadas com infraestrutura precária, solo com baixa permeabilidade e proximidade dos cursos d'água a aplicação de índices permissivos amplifica a vulnerabilidade hidrológica. A supressão de áreas que funcionariam como amortecimento hidráulico natural e a ocupação de planícies de inundação que reduz a capacidade de dissipação das cheias e transfere os riscos para populações mais vulneráveis do ponto social e econômico. Além dos danos sociais, os impactos ambientais direcionam para alteração do regime hidrológico natural, com

ampliação dos picos de cheias, erosão das margens e assoreamento do leito dos cursos d'água, além da degradação dos ecossistemas relacionados. Prejuízos econômicos são sentidos na elevação dos custos de manutenção e ampliação dos sistemas de drenagem, danos em edificações e infraestrutura e perda de valor dos imóveis afetados (Salgado, 2023).

Torna-se evidente que a decisão na definição da taxa de ocupação e índice de aproveitamento deve ser tomada de forma integrada e territorialmente diferenciada, principalmente quando analisados na ótica da hidrologia. Em áreas consolidadas e com infraestrutura com elevado grau de eficiência permitem IA elevados associado a TO restritiva, promovendo eficiência urbana com menor impacto hidrológico. Em áreas alagáveis e com riscos de inundação, índices permissivos configuram um fator estruturante de risco, promovendo ampliação dos eventos, ampliando vulnerabilidade social e prejuízos econômicos. A incorporação de critérios hidrológicos na definição dos índices construtivos é um requisito para promoção da resiliência urbana e socioambiental.

5.2 PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA TO E IA – APLICAÇÃO DA QUOTA AMBIENTAL E OUTORGA ONEROSA DO DIREITO DE CONSTRUIR

O zoneamento e ordenamento do uso do território é uma prática utilizada em diversas partes do mundo, dentro de um contexto de gestão de riscos com vistas a atenuar riscos de desastres através da diminuição das condições de vulnerabilidades existentes (medidas corretivas), assim como a não geração ou não ampliação de novas condições de vulnerabilidade (medidas proativas) (Orleno Marques da Silva, 2013).

Uma das medidas proativas é o ordenamento territorial onde, em âmbito municipal o Plano Diretor subsidia a aprovação de parcelamentos de solo e os comitês de bacias hidrográficas fornecem informações integradas para as ações de inundações dos governos municipais. Municípios situados na mesma bacia hidrográfica deveriam adotar as medidas propostas nestes comitês, buscando uma gestão de riscos regional eficiente, permitindo a otimização de recursos financeiros em busca de socialização de benefícios sociais e ambientais dentro do espaço da microbacia. Planície de inundações dividida entre municípios sofrem inundações periódicas, afetando ocupações regulares e irregulares e a prevenção de danos deve

ocorrer de maneira integrada, para uma maior eficiência na diminuição dos danos e mitigação dos riscos (Marina Nicoletti Simplicio, 2021).

A proposição de critérios técnicos para TO e IA em áreas propensas a alagamentos e inundações a partir da capacidade de suporte hidrológica do território, incorporando o risco como variável estruturante do planejamento urbano deve: (i) priorizar a redução da impermeabilização do solo, adotando TO baixa e condicionar área permeável no lote; (ii) evitar a intensificação automática do adensamento, utilizando $IA_{básico}$; (iii) internalizar os custos hidrológicos da ocupação urbana com o uso de sistemas de drenagem sustentáveis e; (iv) condicionar ganhos construtivos à mitigação dos impactos e posteriormente na manutenção dos ganhos (Salgado, 2023; Silva *et al.*, 2024; Villanueva *et al.*, 2011).

Em áreas propensas a alagamentos e inundações, a TO deve ser tratada como índice hidrológico e não apenas morfológico, entendendo que a área de cobertura edificada é fator sensível ao aumento do escoamento superficial urbano. A TO reduzida à média municipal ou, os menores índices de TO devem ser aplicados em: (i) proximidades de cursos d'água; (ii) em zonas inseridas em planícies de inundações e; (iii) com baixa capacidade de infiltração dos solos. Além disso, deve combinar com mínimo de área permeável natural e exigência de soluções de drenagem sustentável (Villanueva *et al.*, 2011).

Considerando as condições ambientais de ocupação do solo e a capacidade da infraestrutura existente, o uso de índice de aproveitamento básico $IA_{básico}$ ou $IA_{unitário}$ encontra respaldo na literatura. No Brasil, Grau (2001) em artigo apresentado no contexto da Carta de Embu, escrita em 1976, sistematizou o instituto do "solo criado" e consolidou o pensamento urbanístico brasileiro contemporâneo. O solo criado é a possibilidade de criação de área horizontal utilizável, não apoiada diretamente sobre o solo natural ultrapassando em área construída a área do lote. O ordenamento jurídico reconhece que a possibilidade de construir acima de determinado limite básico não decorre do direito da propriedade mas sim de uma outorga do poder público.

Ao fixar um índice básico de aproveitamento no plano diretor, o poder púbico define o limite mínimo. Caso o proprietário tenha a pretensão de exceder esse índice, esse excedente configura o solo criado, cuja utilização pode ser condicionada ao cumprimento de contrapartida urbanísticas. Dessa forma, o potencial de edificar deixa de ser um componente do preço de mercado do lote e permite ao município obter um retorno financeiro através da valorização imobiliária resultante de investimentos

públicos e por decisões de planejamento urbano, indo ao encontro com o princípio da função social da propriedade.

A OODC possibilita um planejamento urbano equilibrado, redistribuindo bônus e ônus da urbanização e subordinando o adensamento das construções à capacidade da infraestrutura construída e às condições ambientais. Em ambientes consolidados, permite a reestruturação urbana com aumento do potencial construtivo e densidades residenciais. O controle do potencial construtivo da zona deixa de ser apenas uma questão técnica ou econômica, recebendo contribuições de escolhas jurídicas e políticas que definem o modelo de crescimento da cidade. A condição para sua aplicação é aferição do desempenho urbano, da infraestrutura e dos impactos no ambiente construído (Falcoski; Junior; Junior, 2007).

A articulação entre $IA_{básico}$, solo criado e OODC são estratégias para o planejamento urbano de cidades equilibradas e resilientes. Ao estabelecer um $IA_{básico}$ baixo e condicionar a ampliação utilizando o instrumento da OODC, o município cria um mecanismo capaz de modular o adensamento urbano conforme restrições e condicionantes ambientais, que podem ser hidrológicas e que estejam de acordo com, ou aumentem a capacidade de suporte da infraestrutura, passando a ter uma fonte de financiamento de políticas públicas de desenvolvimento urbano, consolidando o solo criado como instrumento de governança do território, alinhando crescimento imobiliário, justiça social urbana e sustentabilidade ambiental.

Como propostas de índices urbanísticos para áreas propensas a alagamentos e inundações apresenta-se: (i) TO reduzida, funcionando como instrumento direto de controle da impermeabilização do solo, em conjunto com área permeável de lote; (ii) IA estabelecido inicialmente como índice básico único, compatível com a capacidade hidrológica e infraestrutura existente; (iii) altura mínima de soleira, obtida a partir de referenciais de inundações anteriores ou modelagem de manchas de inundação.

A ampliação do IA deve estar condicionada a: (i) melhoria da infraestrutura urbana; (ii) uso da OODC como instrumento de justiça ambiental e eficiência econômica; (iii) uso de SUDS no empreendimento ou na melhoria da infraestrutura urbana e; (iv) redução de danos causados por eventos climáticos extremos. Visto como uma solução para o problema de distribuição de riquezas, habitação de classes de menor renda e como angariador de recursos para atualização da infraestrutura construída, a ampliação do $IA_{básico}$ através do uso da OODC resolve apenas alguns, talvez os mais importantes definidos pela administração para aumento da resiliência

da cidade. A escolha da tipologia de solução pode ser técnica ou política, mas sempre exigirá um planejamento urbano consistente e uma política transparente na utilização dos recursos, evidenciando os ganhos sociais e ambientais (Rezende *et al.*, 2009).

Os municípios objetos deste trabalho verificam as inundações e alagamentos acontecem não apenas em zonas periféricas mas também em fundos de vale urbanizados, nas zonas centrais ao longo do Rio Paranhana no caso de Igrejinha e Três Coroas e em bairros históricos e com grande valorização imobiliária ao longo de afluentes do Rio Paranhana, como é o caso dos quatro municípios. A redução drástica da taxa de ocupação ou índice de aproveitamento tem um custo político e econômico inviável para o município e o valor do solo impede a remoção ou desadensamento do local, aliado à falta de uma política pública de reurbanização dessas áreas com um novo uso.

Soluções inovadoras em drenagem urbana no planejamento de uso de solo urbano com aplicação intensa de soluções de drenagem sustentável é uma alternativa viável a ser proposta para discussão. O desafio de definir critérios de sustentabilidade envolve várias disciplinas de engenharia, saindo do foco de condução das águas, mas abordando o tema de forma interdisciplinar e transdisciplinar, a fim de garantir a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A abordagem de “três pontos” busca resolver os conflitos típicos de projeto de drenagem urbana (conforto diário, otimização técnica e condições climáticas extremas) onde diferentes áreas profissionais contribuem no projeto e daí, resulta uma solução integrada. Dentro desse entendimento, o controle ambiental dentro do lote das águas de chuva, resulta mais eficaz em áreas consolidadas do que uma simples redução dos índices construtivos, principalmente onde a substituição dos imóveis construídos é inevitável (Zhou, 2014).

Ao condicionar o máximo aproveitamento do potencial construtivo do lote ao seu desempenho ambiental, desloca-se o ônus da mitigação do poder público para o processo de licenciamento ambiental e de construção. Para a área de hidrologia, cada novo empreendimento passará a reter, infiltrar ou retardar parte significativa da água antes do seu lançamento na rede pública. Outra forma é introduzir uma quota ambiental mínima obrigatória em áreas consolidadas como forma de regular os limites fixos de taxa de ocupação, permitindo soluções técnicas adaptadas a cada lote e provocando flexibilizações volumétricas para atendimento ao índice ambiental (Zhou; Leng; Huang, 2018).

Uma estratégia possível é aplicar um $IA_{básico}$ baixo e autorizar IA adicional até um limite máximo mediante OODC, condicionando o atendimento a uma quota ambiental rigorosa. Para esses casos, os recursos devem ser utilizados para obras de drenagem de drenagem local ou implantação de sistemas de drenagem sustentáveis como parques lineares ou requalificação de fundos de vale. Ao permitir que os benefícios do adensamento urbano permaneçam privados, a administração pública através dos instrumentos de licenciamento ambiental e construtivo devem evitar que os custos das inundações e alagamentos, surgidos ou ampliados a partir do novo empreendimento, sejam socializados, capturando os benefícios da valorização imobiliária (Moon; Ahn, 2022).

A aplicação da lógica da quota ambiental em áreas consolidadas e históricas também pode ser utilizada na forma de incentivos urbanísticos e fiscais para que ocorra (i) retrofit de lotes impermeabilizados; (ii) implantação de reservatórios de detenção e; (iii) aumento da cobertura vegetal, produzindo efeitos hidrológicos se aplicados de forma sistemática. Dessa forma, a administração pública firma uma PPP com o privado ao internalizar custos hidrológicos, retardando grandes obras de drenagem urbana e ampliando a vida útil da rede existente.

Para que ocorra essa PPP é necessário que o entendimento de que a TO e IA não são índices puramente formais e podem ser maleáveis a partir do desempenho ambiental do lote, dentro da regulação urbana e que o instrumento OODC seja visto como econômico e social, ao condicionar o direito de construir à responsabilidade ambiental. Do ponto de vista hidrológico, o IA não é problema em si, mas a ampliação do IA de forma automática e sem condicionantes. Ao propor o desempenho ambiental do lote, a intensificação do uso do solo passa a ser estudada caso a caso e o IA passa a ser dependente da capacidade de absorção do empreendimento pelo seu entorno (Berghauser Pont *et al.*, 2021; Salgado, 2023).

O conceito é coerente com o Estatuto da Cidade, que apresenta o conceito de índice de aproveitamento básico e exigência de contrapartida para edificações acima do básico, dentro do princípio da função social da propriedade urbana. Inova-se o conceito ao condicionar o acesso ao IA adicional. Ao propor um $IA_{básico}=1$ com um $IA_{máximo}=2$, é permitido chegar ao máximo apenas se ampliar a qualidade ambiental do entorno e pagar OODC correspondente ao potencial construtivo adicional. Resumindo, não basta pagar a outorga, é necessário melhorar o desempenho

ambiental do lote, ocorrendo uma transição de um urbanismo normativo para um urbanismo baseado em desempenho (Zhou, 2014).

A aplicação da quota ambiental como condicionante de acesso a OODC é uma estratégia que integra planejamento urbano, melhor desempenho ambiental e instrumentos econômicos, que tem por objetivo minimizar a socialização dos prejuízos das inundações e alagamentos e, ao mesmo tempo permite o adensamento seletivo e responsável em áreas que historicamente são alagadas ou inundadas, transformando o direito de construir em um direito condicionado à função socioambiental da propriedade. Nesse trabalho, o formato da quota ambiental foi tomada como base a cidade de São Paulo, realidade distinta e que não pode ser transposta para os municípios em estudo, mesmo quando considerada a bacia do Rio Paranhana. O quadro 16 faz um comparativo entre o instrumento utilizado em São Paulo e como pode ser utilizado em um município pequeno ou na região dos municípios banhados pelo Rio Paranhana, objeto deste trabalho.

Quadro 16: Comparativo de instrumentos urbanísticos e ambientais - São Paulo x Municípios banhados pelo Rio Paranhana

Dimensão	São Paulo	Municípios banhados pelo Rio Paranhana
Escala urbana e complexidade	Alta densidade, forte verticalização, infraestrutura parcialmente saturada, grande desigualdade socioespacial	Densidade média em zonas restritas, expansão horizontal recente, infraestrutura limitada, crescimento periférico em áreas ambientalmente frágeis
Índice de aproveitamento (IA)	IA básico variável por zona (em geral entre 1 e 2); $IA_{máximo}$ elevado mediante OODC	Proposta recomendada $IA_{básico}=1$ para todos os municípios, sendo considerado como uma macrozona urbana
Lógica do IA básico	Resultado de forte negociação política e econômica	Direito mínimo uniforme, compatível com infraestrutura existente e capacidade ambiental
		Condicionado simultaneamente a (i)

Aumento do IA	Permitido mediante pagamento de OODC sem condicionamento ambiental direto (QA atua paralelamente)	melhoria da qualidade ambiental do lote e; (ii) pagamento da OODC
Taxa de ocupação (TO)	Variável conforme zona; em áreas centrais pode ser elevada	Recomenda-se TO reduzida em áreas alagáveis e gradualmente maior condicionada a soluções de drenagem no lote
Quota Ambiental	Instrumento formalizado pela Lei 16.402/2016, com cálculo complexo e múltiplos parâmetros	Versão simplificada da QA, com poucos indicadores chave (permeabilidade, retenção, arborização)
Complexidade do cálculo da QA	Alta (sistema de pontos, fatores de ponderação, softwares)	Baixa, com aplicação de planilha ou tabela normativa
Objetivo central da QA	Mitigar ilhas de calor, impermeabilização e déficit de áreas verdes	Reduzir alagamentos, escoamento superficial e pressão sobre drenagem
Integração QA-OODC	Parcial: OODC é econômica. QA é ambiental, com pouca sobreposição	Integração direta, só acessa IA adicional quem melhora a QA
Gestão da drenagem urbana	Grandes obras estruturais e reservatórios públicos	Ênfase em soluções descentralizadas no lote (detenção, infiltração, jardins de chuva)
Risco hidrológico	Elevado em áreas consolidadas e fundos de vale urbanizados	Elevado em áreas ao longo do Rio Paranhana e proximidades de seus afluentes com expansão urbana recente
Área nobres sujeitas a alagamentos	Comuns (áreas centrais e eixos valorizados)	Presentes ao longo do Rio Paranhana, principalmente em Igrejinha e Três Coroas e em afluentes em todos os municípios

Continua

Continuação

Estratégia recomendada para áreas alagáveis	Incentivos a requalificação ambiental, mas com dificuldades de retrofit	Condicionar novos adensamentos à compensação ambiental no próprio lote
Capacidade institucional	Alta (corpo técnico, dados, fiscalização)	Baixa, sem regras claras, objetivas e autoaplicáveis
Aceitação política	Complexa, com forte lobby imobiliário	Maior possibilidade de pactuação se o modelo for simples e transparente
Destinação dos recursos da OODC	Fundo municipal com múltiplos usos	Vincular para drenagem e adaptação climática
Efeito ambiental esperado	Mitigação parcial dos impactos dos adensamentos	Redução efetiva dos alagamentos e maior resiliência urbana
Risco de injustiça ambiental	Persistente, apesar dos instrumentos	Menor, se IA adicional for condicionado à melhorias ambientais reais

Fonte: o Autor (2026)

.

Para ser operacionalizado pelos quatro municípios objeto deste trabalho, o modelo deve ser de fácil utilização devido a estrutura física deficiente na análise de projetos. Para isso proponho um modelo com uma pontuação ambiental mínima, obtida a partir de quatro componentes fundamentais, todos mensuráveis no lote, a saber: (i) permeabilidade funcional do solo; (ii) retenção/detenção de águas pluviais; (iii) cobertura vegetal (arbórea ou equivalente) e; (iv) redução da impermeabilização efetiva. Cabe a informação que todos esses elementos são previstos na legislação municipal de Taquara, na lei que disciplina as vazões pluviais no lote. Cada componente gera pontos e o somatório define se o empreendimento atende apenas o IA básico ou pode acessar IA adicional via OODC.

Sendo a bacia hidrográfica a unidade de planejamento territorial, o modelo proposto de análise deverá ser implantado de forma conjunta pelos quatro municípios, podendo haver variação nos critérios mínimos, desde que os objetivos sejam alcançados. O município de Taquara possui uma legislação em vigor que disciplina a vazão máxima de águas pluviais nos empreendimentos e parcelamentos de solo, o que deverá ser seguido pelos outros municípios. De igual forma, o zoneamento

regional, principalmente em limites municipais deverão ser analisados em conjunto, eliminando diferenças de uso, IA e TO em regiões com as mesmas características ambientais.

De forma simplificada como apresentada no quadro 17, a pontuação máxima computável será de 200 pontos. Os valores apresentados são exemplificativos e ajustáveis a cada realidade municipal, podendo incluir ou excluir sistemas de avaliação dentro da sua competência legislativa em matéria urbanística. Caso o empreendedor queira um IA≥2,4, entrará em análise da infraestrutura urbana e dos condicionantes ambientais a serem propostos. Pelo menos 3 categorias deverão ser atendidas, devendo ser projetado por profissional habilitado e apresentado plano de manutenção dos sistemas propostos. A incorporação da análise simplificada nesse formato possibilita incorporar sistemas de drenagem sustentável na quota ambiental e permite um modelo de adensamento baseado no desempenho hidrológico do lote, condicionando o aumento do IA à efetiva mitigação dos impactos sobre o escoamento superficial urbano.

Quadro 17: Modelo de Quota Ambiental Simplificada

Parâmetros gerais		
QA	IA	Pontuação
$QA_{mínima}$	1	Até 100 pontos
adicional	1 <IA≤1,5	100 < total ≤130
adicional	1,5 <IA≤2	130 < total ≤160
Adicional	2 <IA≤2,4	160 < total ≤200
adicional	IA≥2,4	200 < total
Superfícies permeáveis e infiltração direta Função principal: infiltrar		
Solução SUDS	Critério mínimo	pontos
Área permeável natural	30%≤Ap≤40% do lote	20
Área permeável natural	40%≤Ap≤50% do lote	30
Área permeável natural	≥ 50% do lote	40
Trincheira de infiltração	≥1m³/100m² de área impermeável	+10
Poço de infiltração	≥1unidade/200m²	+10
Pontuação máxima		50

continua

continuação

Retenção e detenção de águas pluviais Função principal: reter e amortecer picos de cheia		
Solução SUDS	Critério mínimo	pontos
Reservatório de detenção	Retenção ≥ chuva TR=10 anos e Td= 60 minutos	20
Reservatório de detenção	Retenção ≥ chuva TR=10 anos e Td= 60 minutos com redução de volume com uso de condicionantes previstos para redução de volume na LM de Taquara 6131/2018	+10
Reservatório de detenção combinado com infiltração	Retenção ≥ chuva TR=10 anos e Td= 60 minutos sem redução de volume com uso de condicionantes previstos para redução de volume na LM de Taquara 6131/2018 mas promovendo a infiltração no solo	+20
Cisterna para reuso	30% do consumo anual estimado	+10
Pontuação máxima		50

Equação de chuva para o Rio Paranhana e equação de dimensionamento conforme lei municipal de Taquara – Lei 6131/2018

$$i = \frac{1093{,}6xTR^{0.1604}}{(td + 19{,}802)^{0{,}782}}$$

$$V = (4{,}486xAI - 23{,}63)xA$$

continua

continuação

Retardo de escoamento superficial Função principal: atrasar o tempo de concentração		
Solução SUDS	Critério mínimo	pontos
Jardim de chuva	≥5% da área impermeável	15
Biovaletas	≥10m / 1000m²	20
Pavimento drenante estrutural	≥30% das áreas externas	15
Pavimento drenante estrutural	≥50% das áreas externas	20
Desconexão hidráulica (telhado →solo)	≥50% das coberturas	10
Pontuação máxima		50
Telhados verdes e soluções verticais Funções: retenção, evapotranspiração e atraso		
Solução SUDS	Critério mínimo	pontos
Telhado verde extensivo (prof. ≤15cm)	≥50% da cobertura	15
Telhado verde extensivo (prof. ≤15cm)	≥75% da cobertura	20
Telhado verde intensivo (prof. ≤20cm)	≥50% da cobertura	30
Fachadas verdes	≥30% da fachada	10
Pontuação máxima		40

continua

continuação

Cobertura vegetal e soluções baseadas na natureza Funções: infiltração, evapotranspiração e conforto térmico		
Arborização arbustiva	≥50% da área permeável natural	10
Arborização (*)	1 árvore/100m² permeável	10
Arborização reforçada (*)	1 árvore/75m² permeável	15
Área verde funcional (**)	≥10% do lote	20
Área vegetada + jardim de chuva		30
Pontuação máxima		40

Fonte: o Autor (2026)

(*) compensação por corte de arborização no lote não é computada

(**) área verde funcional é área verde que entrega desempenho ambiental, em pelo menos um dos seguintes processos: infiltração no solo, retardo de escoamento superficial, armazenamento temporário, evapotranspiração, redução do coeficiente de escoamento, diminuição dos picos de vazão

O condicionante de ligação entre SUDS e OODC seria que, a partir da pontuação obtida, abriria créditos para compra de índices de aproveitamento. O formato de integração SUDS x OODC está apresentado no quadro 18.

Quadro 18: Integração IA com OODC

Situação Urbanística	IA permitido	QA_{minima}	OODC
Direito básico	1,0	100	Não
Adensamento moderado	1<IA≤1,5	130	Sim
Intermediário	1,5<IA≤2,0	160	Sim
Adensamento intensivo	2<IA≤2,4	200	Sim
Excepcional	IA>2,4	>200	Sim + análise

Fonte: o Autor (2026)

Neste formato, o sistema inspirado no município de São Paulo apresenta-se simplificado para municípios de pequeno e médio porte que possuem baixa

capacidade técnica de análise de empreendimentos. Incorporando sistemas de drenagem urbana sustentável – SUDS na quota ambiental e soluções baseadas na natureza, permite que municípios de porte médio adotem um controle de adensamento baseado no desempenho hidrológico do lote, condicionando o aumento do índice de aproveitamento – IA à efetiva mitigação dos impactos sobre o escoamento superficial urbano.

A legislação que estabelece limite de vazão nos empreendimentos existente no município de Taquara, isenta lotes menores que 600m² de cumprir tal controle, mas não os impede de compra de índices construtivos. Reconhecendo que a implantação do SUDS reduz a carga sobre os sistemas públicos de drenagem, que internalizando o problema urbano de condução das águas de drenagem gera externalidades positivas mensuráveis como redução da vazão de pico, aumento da infiltração e mitigação das inundações, faculta-se a aplicação de descontos na compra de índices construtivos a partir do desempenho ambiental, medido pela quota ambiental. O quadro 19 apresenta as faixas de QA e desconto associado.

Quadro 19: Faixas de QA e desconto associado

Faixa de QA (pontuação)	Desempenho ambiental	Desconto OODC Lote > 600m²	Desconto OODC Lote ≤ 600m²
QA ≤100	Insuficiente	0	0
100≤QA≤130	Mínimo	5%	10%
130≤QA≤160	Intermediário	10%	20%
160≤QA≤200	Máximo	20%	30%
QA≥200	Excelente	30%	40%

Fonte: o Autor

A aplicação de descontos na OODC em função da quota ambiental apresenta amparo na legislação de São Paulo e é um mecanismo inovador ao integrar instrumentos urbanísticos, ambientais e sociais, utilizando soluções de engenharia e arquitetura para induzir comportamentos mais sustentáveis no setor imobiliário. Ao diferenciar lotes conforme sua obrigatoriedade legal de controle na fonte, o autor entende a realidade dos municípios nas dimensões dos lotes nas áreas centrais alagáveis e assegura equidade regulatória e maximiza a eficiência do incentivo econômico, promovendo a adoção voluntária de SUDS em lotes desobrigados pela

lei. O município de São Paulo, na sua Lei de Uso e Ocupação do Solo prevê que poderá ser requerido a concessão de incentivo da Quota Ambiental sob a forma de desconto no valor a ser pago na contrapartida financeira de OODC. O desconto pode ser financeiro na OODC ou em área não computável incentivada, sendo que o sistema prevê verificação pós-obra e, caso não tenha sido efetivado por parte do incorporador, a multa é o dobro do desconto ofertado, com prejuízo de não legalização do empreendimento até o cumprimento da penalidade.

A efetividade do instrumento Quota Ambiental depende da capacidade do município em quantificar, monitorar e avaliar o desempenho ambiental dos lotes urbanos ao longo do tempo, tornando imprescindível a adoção de um Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) atualizado e estruturado tecnicamente, saindo da função meramente arrecadatória e fiscal para cumprir a função de planejamento e gestão territorial e ambiental. A utilização da metodologia BIM e Sistemas de Informações Geográficas (GIS) consolida o cadastro com informações detalhadas sobre edificações, impermeabilização do solo, infraestrutura urbana instalada e possibilita analisar essas informações de forma sistemática (Pereira; Prokopiuk, 2025).

No planejamento urbano sob o olhar do urbanismo e das engenharias ambiental, civil e de saneamento, o uso de tecnologias digitais como a metodologia BIM possibilita a modelagem das características construtivas implantadas e futura com o novo empreendimento, permitindo verificar a conformidade dos requisitos da Quota Ambiental ainda na fase de licenciamento. Vinculando os modelos à plataforma SIG, a análise passa a ser em escala urbana, permitindo a avaliação dos impactos cumulativos do adensamento construtivo sobre as bacias de drenagem, capacidade da infraestrutura instalada e ocupação do solo em áreas sensíveis, oferecendo dados e instrumentos para a tomada de decisões no planejamento de intervenções estruturais e não estruturais, orientando a alocação de investimentos em infraestrutura de forma mais eficiente (Dreksler *et al.*, 2025).

No território delimitado neste estudo, os municípios de Igrejinha e Taquara estão avançados na implantação do Cadastro Técnico Multifinalitário, viabilizando a implantação de um índice nos moldes da Quota Ambiental em São Paulo de forma a alinhar crescimento urbano com capacidade de infraestrutura e princípios de sustentabilidade ambiental e aumento da resiliência urbana.

5.3 SISTEMA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADO PARA INDUÇÃO DA RESILIÊNCIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Como facilitador no entendimento do uso da quota ideal na aprovação de projetos edilícios, foi desenvolvida uma planilha que serve como instrumento técnico de apoio a análise, atuando como elemento intermediário entre o técnico responsável pelo projeto e o analista responsável pela aprovação, traduzindo parâmetros técnicos, ambientais e urbanísticos em critérios objetivos e mensuráveis, estabelecendo uma base comum de entendimento, reduzindo subjetividade na análise e alinhando a proposta de projeto com as exigências do poder público. Denominada como calculadora de Quota Ambiental Simplificada, está estruturada em três blocos principais: i) qualificação do empreendimento; (ii) categorias de SUDS e SBN e; (iii) resultados, a partir do conceito da quota ambiental (QA) e integrada aos parâmetros urbanísticos, promovendo maior eficiência, transparência e padronização nas decisões administrativas.

O primeiro bloco apresentado nos quadros 20 e 21, onde o primeiro qualifica o empreendimento de forma cartorial nos itens 1.1 até 1.4 localizando o lote dentro do território, o que permite o preenchimento do item 1.5 dentro dos instrumentos morfológicos propostos pelo plano diretor do município. O item 1.6, locação com coordenadas UTM, possibilita o automático posicionamento do imóvel em área alagável ou inundável, com respostas simples de sim ou não (S/N). A cota de inundação é obtida através da mancha de inundação disponibilizada por setores de geoprocessamento municipais ou regionais, que deverá coletar, tratar e disponibilizar dados georreferenciados para consulta dos projetistas. Essa informação insere o projeto dentro do sistema GIS, fazendo com que o projeto seja interligado ao território, deixando de ser analisado como projeto individual mas também como integrante de um ecossistema. A capacidade da rede de drenagem, solicitado no item 1.10 faz parte do diagnóstico ambiental do empreendimento, sendo necessário informar a capacidade de condução das águas pluviais pela tubulação instalada e vazão de contribuição do empreendimento, verificando a necessidade de reforço na infraestrutura urbana de drenagem. O pedido de informação no item 1.12, sobre a necessidade de supressão de vegetação se faz necessária, mas a compensação não computa pontos para a quota ambiental.

Quadro 20: Qualificação do empreendimento

QUALIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO						
1 – DADOS DO EMPREENDIMENTO						
1.1	Edificação					
1.2	Endereço					
1.3	Matrícula:					
1.4	Quadra		Lote:		Cadastro Imobiliário:	
1.5	Zoneamento		TO:		$IA_{mínimo}$	
1.6	Coordenadas UTM					
1.7	Lote inundável (S/N)					
1.8	Lote alagável (S/N)					
1.9	Cota inundação:					
1.10	Capacidade da rede de drenagem			l/s		
1.11	Contribuição de lançamento			l/s		
1.12	Supressão de vegetação			unid		

Fonte: O Autor (2026)

A quadro 20 solicita os dados reais do projeto e determinam os critérios mínimos para atendimento no uso de metodologia SUDS pelo empreendimento, que permitem o acesso a OODC.

Quadro 21: Dados de projeto

2	Parâmetros de análise	Quant.	Unid.
2.1	Área do lote		m²
2.2	TO real		%
2.3	Área externa		m²
2.4	Área de cobertura		m²
2.5	Perímetro da edificação		m
2.6	Altura da edificação		m
2.7	Vegetação arbustiva		m²
2.8	Árvore		unid
2.9	Área permeável natural		m²

Fonte: O Autor (2026)

Onde:

2.1 – obtida a partir da poligonal fechada do lote do empreendimento, medida em m²;

2.2 – resultado da operação: $\frac{área\ do\ pavimento\ térreo}{área\ informada\ em\ 2.1}$

2.3 – resultado da operação: *área informada em 2.1 – área do pavimento térreo*

2.4 – área de telhado, medido em planta

2.5 – perímetro da edificação, medido em planta

2.6 – altura da edificação, medida em planta desde a soleira do pavimento térreo até o nível mais alto do telhado

2.7 – vegetação arbustiva, medida em projeto paisagistico

2.8 – número de árvores plantadas no lote, excluindo as unidades de compensação ambiental

2.9 – área permeável natural, definido como a porção do lote onde se mantém as características físicas originais do terreno, permitindo a infiltração direta das águas pluviais no solo. Não é computável a área onde se aplica SUDS, que é considerada área permeável artifcial.

As tabelas 22 até 26 são os critérios mínimos a serem atingidos e que proporcionam ampliar os índices urbanísticos através da OODC, proporcionais a pontuação obtida na quota ambiental, onde é enfatizado o uso de dispositivos de controle hidrológico na fonte. Divididos em categorias, o projetista do empreendimento tem liberdade de escolha entre os dispositivos e o analista do projeto, a partir da infraestrutura construída pode sugerir opções para um melhor funcionamento da infraestrutura instalada. Essa interação é possível e facilitada a partir do uso da metodologia BIM dentro de um sistema GIS, onde modelos podem ser desenvolvidos na fase de projeto. A partir dos dados inseridos no quadro 20, os critérios mínimos, estabelecidos no quadro 16 deste trabalho, são automaticamente preeenchidos, assim como o valor mínimo, cabendo ao projetista o atendimento ao critério. A pontuação do critério é automática, devendo pontuar no mínimo em 3 categorias.

Quadro 22: Critérios de infiltração

3	SUPERFÍCIES PERMEÁVEIS E INFILTRAÇÃO DIRETA						
	Solução SUDS	**Qtde.**	**Unid.**	**Critério mínimo**	**Unid.**	**Valor mínimo**	**Pontuação**
3.1	Área permeável		m²		m²		
3.2	Trincheira de infiltração		m²		m²		
3.3	Poço de infiltração		unid		unid		
					Subtotal		

Fonte: o Autor (2026)

Quadro 23: Critério de retenção ou detenção

4	RETENÇÃO OU DETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS						
	Solução SUDS	**Qtde.**	**Unid.**	**Critério mínimo**	**Unid.**	**Valor mínimo**	**Pontuação**
4.1	Reservatório de detenção/retenção		M²	Legislação municipal	M²		
4.2	Redução de volume com condicionantes (S/N)			Legislação municipal			
4.3	Cisterna para reuso		M²	Legislação municipal	M²		
					Subtotal		

Fonte: o Autor (2026)

Quadro 24: Critério de retardo

5	RETARDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL						
	Solução SUDS	**Qtde.**	**Unid.**	**Critério mínimo**	**Unid.**	**Valor mínimo**	**Pontuação**
5.1	Jardim de chuva		m²	≥5% $A_{imp.}$	m²		
5.2	Biovaletas		m	≥10m/1000m²	m		
5.3	Pavimento drenante estrutural		m²		m²		
5.4	Desconexão hidraulica (telhado→solo)		m²		m²		
					Subtotal		

Fonte: o Autor (2026)

Quadro 25: Critério de telhados verdes e soluções verticais

6	TELHADOS VERDES E SOLUÇÕES VERTICAIS						
	Solução SUDS	**Qtde.**	**Unid.**	**Critério mínimo**	**Unid.**	**Valor mínimo**	**Pontuação**
6.1	Telhado verde extensivo		m²	≥50% A_{imp}	m²		
			m²	≥75% A_{imp}	m²		
6.2	Telhado verde intensivo		m²	≥50% cobertura	m²		
6.3	Fachadas verdes		m²	≥30% fachada	m²		
					Subtotal		

Fonte: o Autor (2026)

Quadro 26: Critério de cobertura vegetal e SBN

7	COBERTURA VEGETAL E SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA						
	Solução SUDS	**Qtde.**	**Unid.**	**Critério mínimo**	**Unid.**	**Valor mínimo**	**Pontuação**
7.1	Arborização arbustiva		m²	≥50% $A_{perm.}$ Natural	m²		
7.2	Arborização		unid.	1 arv./100m² A_{perm}	unid.		
7.3	Arborização reforçada		unid.	1 arv./75m² A_{perm}	unid.		
7.4	Área verde funcional		m²	≥10% A_{lote}	m²		
7.5	Área verde funcional + jardim de chuva		m²	≥10% A_{lote} + 5% A_{imp}	m²		
					Subtotal		

Fonte: o Autor (2026)

Preenchidos os critérios, os resultados apresentados permitem a análise do empreendimento como item isolado dentro de um sistema GIS. O quadro 27 traz, a partir da pontuação obtidas, o número mínimo de categorias atendidas e permita a comparação com as faixas de com o quadro 18, posicionando o empreendimento em faixa de OODC e desconto ofertado no quadro 19. Como elemento inovador, para lotes menores que 600m², o desconto ofertado é maior devido ao movimento voluntário no uso de sistemas de drenagem sustentável.

Quadro 27: Apresentação de resultados

RESULTADOS		
8	**Pontuação QA**	
8.1	Categorias atingidas	
8.2	QA mínimo exigido	
8.3	Atende QA	
8.4	Desempenho ambiental	
8.5	IA máximo	
8.6	Cota mínima exigida (cota inundação + 0,7]0m)	
8.7	Atende cota mínima?	
9	**Desconto OODC**	
	Lotes ≥ 600m²	
	Lotes < 600m²	

Fonte: o Autor (2026)

6 CONCLUSÃO

A pesquisa buscou apresentar uma proposta de método de planejamento urbano a partir do aumento da resiliência do ambiente construído, utilizando o SUDS como elemento central, integrando metodologias, estratégias e ferramentas tecnológicas para o desenvolvimento urbano das cidades localizadas no Vale do Rio Paranhana, frente ao cenário de vulnerabilidade em eventos climáticos extremos, principalmente os de origem hídrica. A partir da análise dos dados e das legislações municipais, elaboradas sem o atendimento da PNPDEC que estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento, análise e gestão para a prevenção de desastres, evidenciou que modelo de crescimento atual demanda uma revisão profunda em direção à sustentabilidade hídrica e digital.

A realidade física do território, apresentada em forma de MDE e modelagem HANDMODEL apresentando áreas propensas e vulneráveis a inundações e alagamentos urbanos e a insuficiência das regras vigentes na ocupação destes

espaços mostram um descompasso normativo, com índices urbanísticos criados de forma genérica, vinculados ao mercado imobiliário, sem considerar a hidrografia e topografia específica da bacia hidrográfica do Vale do Rio Paranhana. A análise das legislações comprovam que as administrações públicas promovem e patrocinam o crescimento em áreas que a modelagem aponta como críticas, o que foi comprovado em forma real com a sobreposição da mancha de inundação do evento climático de 2024.

A validação técnica dos dados como topografia, mancha de inundação e histórico de eventos climáticos demonstra que o problema de inundações nos municípios deixou de ser apenas a chuva mas as autorizações legais para o uso e ocupação de solo em áreas alagáveis e inundáveis, que proporcionam a crescente impermeabilização do solo sem as devidas contrapartidas de retardo, retenção, infiltração e evapotranspiração. As legislações de parcelamento de solo, com exceção do município de Taquara, patrocinam e incentivam o modelo de dimensionamento higienista, transferindo o aumento de vazão escoada para um ponto a jusante com diminuição do tempo de escoamento, resultando em alagamentos e inundações com cotas mais elevadas e em maior frequência ou onde antes não eram verificados, resultado de uma infraestrutura saturada.

A pesquisa mostrou que o aumento da resiliência do ambiente construído não é uma ação estática, mas um processo dinâmico que depende da capacidade do município de mitigar riscos e, apoiado em metodologias e ferramentas tecnológicas de apoio na análise do território regional, a pesquisa comprova que, além da crise climática os municípios também passam por crise urbanística e propõe índices urbanísticos restritivos que permitam o manejo das águas pluviais na fonte e critérios que trazem o mercado imobiliário para dentro da solução do problema, caso tenha interesse na ampliação do índice através da OODC, com o uso de condições e restrições.

A integração do mercado imobiliário como coautor na solução de problemas de infraestrutura do município é materializada através da vinculação estratégica da OODC e implementação do SUDS no lote. Único município entre os quatro objeto da pesquisa, Taquara possui em sua legislação a obrigatoriedade da SUDS, mas acompanha os outros municípios quanto a OODC ter um caráter monetário para o município e em descompasso com os índices urbanísticos apresentados, não sendo atrativo para os empreendedores imobiliários. A utilização do IA=1 e a criação de

condicionantes vinculados a utilização de SUDS dentro do lote traz uma abordagem no urbanismo onde a solução pode criar um cenário de ganha-ganha, quando bem administrado.

No cenário econômico, a aplicação de SUDS desonera o poder público e transfere para a iniciativa privada custos de ampliação da infraestrutura instalada, prolongando a sua vida útil e não socializando um custo patrocinado por um evento privado. Em contrapartida, valoriza o ativo imobiliário através do aumento do índice de aproveitamento e, com medidas urbanísticas trazem valorização imobiliária para a região do entorno.

No panorama ambiental, a manutenção ou retorno de funções ecossistêmicas críticas através do uso de SUDS como infiltração, retardo, retenção e redução do escoamento superficial, aliado ao uso de soluções baseadas na natureza com aumento da arborização ultrapassam a questão técnica hidrológica e provoca uma requalificação urbanística, provocando uma ruptura na densificação urbana. Substituindo áreas impermeáveis por infraestrutura verdes-azuis, a cidade experimenta alteração no microclima, onde a evapotranspiração atua como regulador térmico natural, diminuindo as ilhas de calor. O uso de jardim de chuva em ambientes densificados substitui o aspecto árido das ruas por corredores de elementos vivos que trazem uma sensação de bem-estar e restaura o equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e os processos naturais.

O impacto social da utilização do SUDS no lote, traz para o empreendedor a responsabilidade social de ampliar a segurança e resiliência da cidade, deixando de ser um vetor da degradação hídrica para se tornar parte da solução do problema, beneficiando a coletividade e reduzindo as externalidades negativas sobre as áreas vulneráveis da bacia hidrográfica.

Tomando como elemento de delimitação de território da bacia hidrográfica do Rio Paranhana, a pesquisa oferece uma proposta de método de avaliação prática para os quatro municípios, propondo a inclusão da Quota Ambiental nos planos diretores, com a utilização do IA=1 e do uso estratégico da OODC como indutor de infraestrutura verde e SUDS no lote. A medida deve ser tomada em conjunto pelos municípios, de forma a não provocar desequilíbrios no mercado imobiliário da região. Hoje existe um descompasso entre os municípios, onde as legislações apresentam discrepâncias principalmente nas áreas limítrofes com variações no uso e ocupação do solo que,

apesar de legais do ponto de vista jurídico, não encontram justificativas do olhar ambiental.

A utilização de novas tecnologias na elaboração de projetos, comuns na iniciativa privada ainda é incipiente no setor público, não havendo sintonia entre o ambiente analisado nos projetos e a realidade construída. A construção de cenários para tomada de decisões pelo gestor público e a indefinição de critérios objetivos nas análises oportuniza o debate da inclusão da metodologia BIM em conjunto com o GIS, com a consequente integração BIM-GIS como ferramenta essencial no estudo do território a partir da criação de "gêmeos-digitais". A parceria entre projetistas e setor público promoverá uma análise mais transparente e eficiência mas, para ser efetiva, o território a ser considerado deve ser a bacia hidrográfica, integrando os quatro municípios, de forma que não ocorra desequilíbrios dentro do território.

Trazendo novamente o modelo da cidade de Taquara, a legislação municipal que limita as vazões de drenagem pluvial na rede pública deve ser replicada para os demais municípios, obedecendo a hidrologia de cada um, de forma a buscar a redução das vazões de pico e melhoria da qualidade das águas, trazendo uma melhoria na resiliência do território, diminuindo a possibilidade de alagamentos e inundações no que resulta em populações mais seguras e um ambiente mais inclusivo.

Importa registrar que a presente dissertação não tem a intenção de definir critérios urbanísticos para os municípios, mas de instrumentalizar na criação de índices urbanísticos baseados em critérios além dos normalmente utilizados que é do mercado imobiliário, levando em consideração os eventos hidrológicos extremos. A pesquisa pode ser ampliada e adaptada utilizando mobilidade urbana, segurança pública e outros temas que devem ser debatidos visando o aumento da resiliência do território em estudo.

Estudos sobre a implantação dessas medidas devem ser feitos em conjunto com os empreendedores para que as pontuações, índices de aproveitamento e valores de descontos na compra de OODC sejam equilibrados com os valores de infraestrutura construída, proporcionando um ambiente atrativo para os empreendedores. Além de incentivos para a OODC, pode ser oportuno avançar para estudos de viabilidade para o IPTU verde específico para drenagem, com descontos proporcionais ao volume retido, retardado, infiltrado ou evapotranspirado no lote. Sendo verificado alterações no mercado imobiliário, pesquisas sobre o impacto financeiro na valorização dos imóveis e sua compensação na implantação do SUDS

podem levar a adaptações futuras nas pontuações e alterações nos índices urbanísticos.

O necessário monitoramento de campo que permita a calibração de modelagens é importante para manutenção do sistema, possibilitando diagnósticos atualizados e a criação de “gêmeos digitais”, integrando dados de rede pluviométrica na bacia hidrográfica com sensores instalados no Rio Paranhana, visando transformar o território local em território inteligente, capaz de emitir alarmes de eventos de inundação em tempo real. Com o uso de inteligência artificial e modelagem, pode-se prever manchas de inundação com base em previsões meteorológicas de curto prazo, com a base de dados construída.

Por fim, a necessária pesquisa sobre a Governança Regional, baseada no fato de que água não respeita fronteiras administrativas. A criação de um consórcio intermunicipal voltado para a drenagem resiliente, que defina os critérios de forma técnica para o uso e ocupação do solo no Vale do Rio Paranhana é um passo importante, principalmente na análise de compensação hidrológica entre os municípios, onde o município de montante pode receber incentivos para reter água de chuva, beneficiando o município de jusante.

Todos os caminhos propostos levam a uma necessária política pública de uso e ocupação do solo integrada no Vale do Rio Paranhana, que não se limite a legislações municipais, mas que ultrapasse os limites territoriais. Tecnicamente, a aplicação de instrumentos como a quota ambiental que traz a visão ambiental para dentro do planejamento urbano e o uso da metodologia BIM-GIS não representam apenas um avanço normativo, mas base para uma governança territorial capaz de mitigar riscos de forma a buscar a resiliência de uma região historicamente vulnerável frente a eventos climáticos extremos. No âmbito econômico, ambiental e social, ao converter o mercado imobiliário em aliado da resiliência através de incentivos como o OODC vinculado a sistemas sustentáveis, é estabelecido um novo paradigma de planejamento, onde o território deixa de confrontar a dinâmica das águas para coexistir de forma sustentável e resiliente com ela.

REFERÊNCIAS

ALDIGUERI, Camila; ROSA, Sara. O instrumento da outorga onerosa em Fortaleza como estratégia de valorização imobiliária. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, SP, v. 24, p. 337–362, 2022.

ALMEIDA, Isis De Castro. **Sistemas Sustentáveis de drenagem urbana: uma proposta para a bacia hidrográfica do córrego São Pedro, em Juiz de Fora - MG**. Juiz de Fora: [*s. d.*], 2020. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora.

ÁLVAREZ PÉREZ, Ana. **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en áreas industriales: aplicación al polígono industrial de Quart de Poblet (Valencia)**. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2021. Disponível em: https://riunet.upv.es/handle/10251/168695. Acesso em: 22 set. 2024.

ALVES, Vitor; ORLANDO, Paulo. Relação cidade-curso de água: canalização de cursos de água. **REVISTA GEOGRAFAR**, Curitiba, v. 16, p. 375–400, 2021.

ASFANDYAR, M. *et al.* Enhancing Sustainable Flood Resilience and Energy Efficiency in Residential Structures: Integrating Hydrological Data, BIM, and GIS in Quetta, Pakistan. **Sustainability**, Basel, v. 17, n. 6, 2025. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105001123461&doi=10.3390%2fsu17062496&partnerID=40&md5=7dca515b3a7cf67bbdb7cb25eb73ebba.

BARRILE, V. *et al.* Innovative System for BIM/GIS Integration in the Context of Urban Sustainability. **Applied Sciences (Switzerland)**, Basileia, v. 14, n. 19, 2024. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85206584576&doi=10.3390%2fapp14198704&partnerID=40&md5=005acbdc200ca72bac2df28477396e6b.

BARRILE, V.; GENOVESE, E.; FAVASULI, F. Development and Application of an Integrated BIM-GIS System for the Energy Management of Buildings. **WSEAS Transactions on Power Systems**, Athens, v. 18, p. 232–240, 2023.

BATTEMARCO, Bruna Peres *et al.* Sistemas de espaços livres e drenagem urbana: um exemplo de integração entre o manejo sustentável de águas pluviais e o planejamento urbano. **Paisagem e Ambiente**, São Paulo, n. 42, p. 55–74, 2018.

BELAROUSSI, R. *et al.* Exploring Virtual Environments to Assess the Quality of Public Spaces. **Algorithms**, Capel, v. 17, n. 3, 2024. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85188838865&doi=10.3390%2fa17030124&partnerID=40&md5=4bcc87613b21f035f2b5e8319d5f8f2a.

BERGHAUSER PONT, Meta *et al.* Systematic review and comparison of densification effects and planning motivations. **Buildings and Cities**, Gothenburg, v. 2, n. 1, p. 378–401, 2021.

BERIGÜETE, F.E.; SANTOS, J.S.; RODRIGUEZ CANTALAPIEDRA, I. Digital Revolution: Emerging Technologies for Enhancing Citizen Engagement in Urban and Environmental Management. **Land**, Basileia, v. 13, n. 11, 2024. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85210267912&doi=10.3390%2fland13111921&partnerID=40&md5=64a03b90e155be31cca856a63b198c6e. Acesso em: 4 jul. 2025.

BONAVITA, Georgia Dutra de Oliveira; FONSECA, Paulo Luiz da. Análise de sistemas de microdrenagem: as built e as possíveis interferências em áreas urbanas. **Labor e Engenho**, Campinas, v. 13, p. e019007–e019007, 2019.

BORBA, Tuanni. Planos diretores municipais pós-Estatuto das Cidades: balanço crítico e perspectivas. *In*: OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. 28 ago. 2020. Disponível em: https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/planos-diretores-municipais-pos-estatuto-das-cidades/. Acesso em: 31 jan. 2026.

BRASIL LEI Nº 12.608 INSTITUI A POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL - PNPDEC. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/CCivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso em: 20 abr. 2026.

BROWN, Seth; SANNEMAN, Carrie. Economic Instruments to Support Investment in Green Stormwater Infrastructure. **Economic Instruments to Support Investment in Green Stormwater Infrastructure**, [*s. l.*], 2017. Disponível em: www.willamettepartnership.org\ publications. Acesso em: 30 nov. 2025.

BRUBACHER, João Paulo. **Análise da suscetibilidade a inundações, na área urbana do município de Igrejinha/RS**. 2014. TCC (Geografia) - UFRGS, Porto Alegre, 2014. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/106964. Acesso em: 21 fev. 2025.

BRUEL, Betina Ortiz *et al.* A perspectiva dos municípios brasileiros sobre a proteção ambiental na campanha da onu "construindo cidades resilientes – minha cidade está se preparando". **Revista Políticas Públicas & Cidades**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 19–33, 2022.

BUGS, Geisa; BOSA, Rafael. O desenvolvimento urbano-industrial e a configuração socioespacial de Parobé. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 28, 2023. Disponível em: https://online.unisc.br/seer/index.php/redes/article/view/18427. Acesso em: 20 fev. 2025.

CAETANO, Paulo Mantey Domingues. **Fundamentação teórica da Quota Ambiental e estudo de caso de seu desenvolvimento em São Paulo**. 2017. 369 f. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-31052016-141005/. Acesso em: 22 jan. 2026.

CAETANO, Paulo Mantey Domingues *et al.* The City of São Paulo's Environmental Quota: A Policy to Embrace Urban Environmental Services and Green Infrastructure Inequalities in the Global South. **Frontiers in Sustainable Cities**, Lausanne, v. 3, 2021. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2021.685875/full. Acesso em: 21 abr. 2026.

CARDOSO, Alice Rodrigues; POLETO, Cristiano. SUDS: Remediação ambiental aplicada à drenagem urbana. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba, v. 9, n. 3, p. 377–396, 2024.

CARVALHO, Andreza Tacyana Felix. BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO: DISCUSSÃO SOBRE OS IMPACTOS DA PRODUÇÃO SOCIAL NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente-MG, v. 1, n. 42, p. 140–161, 2020.

CARVALHO, Andreza Tacyana Felix. Interrelação entre planejamento urbano, ocupação do solo e problemas de drenagem de águas pluviais na bacia do Rio Arrombados (Cabo-PE). **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 37, n. 2, p. 269–270, 2019.

CARVALHO, Camila; NETTO, Vinicius M.; SABOYA, Renato. Planning in context: empirical challenges versus normative instruments in large Brazilian cities. **URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 17, p. e20240139, 2025.

CAUDURO, Flávia; MATOS, Henrique de. Drenagem e a Urbanização – Estudo de caso dos impactos da urbanização no sistema de drenagem em uma cidade de pequeno porte. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil Unesc - CIVILTEC**, Criciuma, v. 5, n. 2, p. 58–76, 2021.

CECCATO, V. Fieldwork protocol as a safety inventory tool in public places. **Criminal Justice Studies**, Londres, v. 32, n. 2, p. 165–188, 2019.

CHARLESWORTH, S.M.; HARKER, E.; RICKARD, S. A review of sustainable drainage systems (SuDS): A soft option for hard drainage questions?. **Geography**, Sheffield, v. 88, n. 2, p. 99–107, 2003.

CHAVES, Cheila Maria S. **Rio Paranhana - Pousada**. 2017. TCC (Arquitetura e Urbanismo)Novo Hamburgo-RS, 2017. Disponível em: https://tconline.feevale.br/tc/files/9100_1458.pdf. Acesso em: 22 fev. 2025.

CHEN, Siwei; GOU, Zhonghua. An Investigation of Green Roof Spatial Distribution and Incentive Policies Using Green Buildings as a Benchmark. **Land**, Wuhan, v. 11, n. 11, p. 2067, 2022.

CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 43, p. 94–108, 2020.

CORTESE, Tatiana Tucunduva Philippi. **Mudanças climáticas na cidade de São Paulo: avaliação da política pública municipal**. 2013. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-31072013-105505/. Acesso em: 21 fev. 2025.

COSTA, Marco Aurelio. **Diálogos para uma Política Nacional de Desenvolvimento Urbano : desafios do financiamento urbano e da governança interfederativa**. Brasília, DF: Ipea, 2023. v. 2 Disponível em:

https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12711/1/Dialogos_para_uma_Politica_Nacional_v.2Book.pdf. Acesso em: 6 dez. 2025.

COSTANTINO, D.; GRIMALDI, A.; PEPE, M. 3D Modelling of buildings and urban areas using grasshopper and rhinocersos. **Geographia Technica**, Cluj-Napoca, v. 17, n. 1, p. 167–176, 2022.

COUSINS, Joshua; HILL, Dustin T. Green infrastructure, stormwater, and the financialization of municipal environmental governance. **ResearchGate**, Abingdon, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/349749853_Green_infrastructure_stormwater_and_the_financialization_of_municipal_environmental_governance. Acesso em: 30 nov. 2025.

COUTINHO, Marcos Pellegrini *et al.* Instrumentos de planejamento e preparo dos municípios brasileiros à Política de Proteção e Defesa Civil. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 7, p. 383–396, 2015.

CRUZ, Maurício Feijó; FONSECA, Francisco César Pinto da. Vetores em contradição: planejamento da mobilidade urbana, uso do solo e dinâmicas do capitalismo contemporâneo. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 20, p. 553–576, 2018.

CYMBALISTA, Renato *et al.* A Outorga Onerosa do Direito de Construir após o Estatuto da Cidade: um panorama de implementação nos municípios brasileiros. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Pernambuco, v. 9, n. 2, p. 73–93, 2007.

DAVIDOVITSCH, Léo *et al.* Tendências Recentes na aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) para o controle da drenagem urbana. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 33, n. 73, p. 336–65, 2023.

DAWOOD, N. *et al.* Visualising urban energy use: the use of LiDAR and remote sensing data in urban energy planning. **Visualization in Engineering**, Cham, v. 5, n. 1, 2017. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85044635344&doi=10.1186%2fs40327-017-0060-3&partnerID=40&md5=80b5c252ac018e6fd5fe7f6e2184cdad. Acesso em: 4 jul. 2025.

DEARRY, Allen. Impacts of Our Built Environment on Public Health. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v. 112, n. 11, p. A600–A601, 2004.

DENG, Y.; CHENG, J.C.P.; ANUMBA, C. A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration. **Structure and Infrastructure Engineering**, Abingdon, v. 12, n. 10, p. 1267–1280, 2016.

DE-PING, Yu A *et al.* Transit-oriented development and floor area ratio regulation in a transportation corridor: Formulation and a case study. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Amsterdam, Holanda, v. 176, p. 103814, 2023.

DIETZ, Michael E. Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 186, n. 1–4, p. 351–363, 2007.

DOMINGUES, Thuany Nascimento; CHIROLI, Daiane Maria De Genaro. Cidades resilientes: um modelo de ações inovadoras voltado à eventos hidrológicos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Paraná, v. 11, p. 104–123, 2022.

DREKSLER, B. *et al.* The diffusion of digital technologies in landscape planning – A scoping literature review. **Land Use Policy**, Reino Unido, v. 154, 2025. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105002563242&doi=10.1016%2fj.landusepol.2025.107549&partnerID=40&md5=bcc0f1c86f853f13382bc2102d40aaad. Acesso em: 4 jul. 2025.

DRUMOND, Rafael Augusto Santos; ALMEIDA, Renan Pereira; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. Mudanças climáticas e Plano Diretor: mitigação de inundações em Belo Horizonte. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 25, p. 899–922, 2023.

DUARTE, Denise; BRANDÃO, Rafael; PRATA, Alessandra. Environmental Criteria Incorporation in a Brazilian Building Code. *In*: THE 21TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 2004, Eindhoven. **Plea2004**. Eindhoven: [*s. d.*], 2004. p. 19–22. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/Environmental-Criteria-Incorporation-in-a-Brazilian-Duarte-Brand%C3%A3o/a6e0679fbf1d03d9a54ebb6e918def6d5ff090b1. Acesso em: 21 abr. 2026.

EL-BEHEIRY, D.M. An Integrated BIM and GIS Framework for Sustainable Urban Planning. **Journal of Engineering Sciences**, Assiut, v. 53, n. 3, p. 270–287, 2025.

FABRÍCIO, Edmar Pereira *et al.* Planejamento urbano sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 1326–1338, 2019.

FALCOSKI, Luis Antonio Nigro; JUNIOR, Lourenço Leme da Costa; JUNIOR, Vitor Eduardo Molina. Plano Diretor e Regulamentação do Instr. Outorga Onerosa do Direito de Construir. **Anais ENANPUR**, Belém, v. 12, n. 1, 2007. Disponível em: http://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenanpur/article/view/1089. Acesso em: 16 out. 2024.

FARIAS, Ariadne; MENDONÇA, Francisco de Assis. Modelagem e mapeamento de áreas de perigo de inundação urbana na cidade de Francisco Beltrão (Brasil). **Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, Guimarães, v. 1, n. 1, p. 73–91, 2019.

FERENTZ, Larissa Maria da Silva; GARCIAS, Carlos Mello. A capacidade do Estado frente a gestão de riscos e desastres após a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei 12.608/2012). **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, DF, v. 10, n. 1, 2020. Disponível em: https://www.publicacoes.uniceub.br/RBPP/article/view/6550. Acesso em: 20 abr. 2026.

FERNANDES, Manoel do Couto *et al.* Comparação do uso de superfície real e planimétrica para análises do índice de eficiência de drenagem: um estudo no maciço da Tijuca - RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 13, n. 1, 2012. Disponível em: https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/339. Acesso em: 7 mar. 2026.

FERNÁNDEZ-ALVARADO, J.F.; FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, S. 3D environmental urban BIM using LiDAR data for visualisation on Google Earth. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 138,

2022. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85128533311&doi=10.1016%2fj.autcon.2022.104251&partnerID=40&md5=8e79f51a1aa0bdf352008cd8eaa6345f. Acesso em: 4 jul. 2025.

FERREIRA, Ximena Cardozo. Sistemas urbanos de drenagem sustentável como meio de controle de inundações. **Revista do Ministério Público do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 1, n. 90, p. 257–273, 2021.

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

FRUTUOSO, Gilciane Kariny da Costa; GRIGIO, Alfredo Marcelo; BARROS, Terezinha Cabral de Albuquerque Neta. Inundações urbanas: um olhar para o planejamento urbano na revisão do plano diretor de Assú – RN, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 8, n. 61, 2020. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/2431. Acesso em: 16 fev. 2026.

FU, Xin *et al.* A runoff trading system to meet watershed-level stormwater reduction goals with parcel-level green infrastructure installation. **The Science of the total environment**, Amsterdam, v. 689, p. 1149–1159, 2019.

FURTADO, Fernanda; DE ARAÚJO, Jefferson Tomaz. Outorga Onerosa do Direito de Construir no planejamento municipal brasileiro: percurso, avanços e permanências no último decênio. Curitiba, 2017.

GARCIA, Fabricio Ribeiro; JÚNIOR, Mauro José Alixandrini. Comparação de MDTs a partir do acoplamento de modelo hidrológico e hidrodinâmico aplicado à identificação de áreas de inundações urbanas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 2, p. 783–803, 2022.

GEVEHR, Daniel Luciano; KASPARY, Rosane Maria. Essa floresta é nossa, tudo que nela existe nos pertence: o espaço natural do Vale do Paranhana delimitado a partir da imigração e colonização alemã no Rio Grande do Sul. **Revista Latino-Americana de História- UNISINOS**, São Leopoldo, v. 6, n. 17, p. 92–111, 2017.

GNÄDINGER, J.; ROTH, G. Applied integration of gis and bim in landscape planning. **Journal of Digital Landscape Architecture**, Berlim, v. 2021, n. 6, p. 324–331, 2021.

GODOY, Jeane Aparecida Rombi de; BENINI, Sandra Medina. Resiliência urbana: políticas para enfrentar desastres naturais e mudanças climáticas. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. e775–e775, 2024.

GODYŃ, Izabela; MUSZYŃSKI, Krzysztof; GRELA, Agnieszka. Assessment of the Impact of Loss-of-Retention Fees on Green Infrastructure Investments. **Water**, Basel, Switzerland, v. 14, n. 4, p. 560, 2022.

GOMES, Amanda Aparecida; PRADO FILHO, José Francisco do. Incentivos financeiros municipais visando a proteção ambiental: análise da experiência em Ouro Preto, MG. Santa Maria, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/download/43592/html?inline=1&utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 30 nov. 2025.

GONÇALVES, Felipe de Sousa; MOURA, Nina Simone Vilaverde. Planejamento Urbano e Ambiental: Proposições aos Municípios do Rio Grande do Sul. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 5–24, 2022.

GONÇALVES, Felipe Timmermann; NUCCI, João Carlos. Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): propostas para a bacia do rio juvevê - Curitiba - PR. **Ra'e Ga: o Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 42, p. 192–209, 2017.

GRAU, Eros Roberto. Solo Criado - Eros Roberto Grau | PDF | Propriedade privada | Constituição. **Revista de Direito Imobiliário**, São Paulo, 2001. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/856511117/Solo-Criado-Eros-Roberto-Grau. Acesso em: 2 fev. 2026.

GUPTA, V. *et al.* 3D Modeling of Amity University Noida Campus using revit architecture and ArcGIS. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, Chennai, v. 7, n. 4, p. 48–61, 2016.

HARVEY, David. The urban process under capitalism: a framework for analysis. **International Journal of Urban and Regional Research**, Oxford, v. 2, n. 1–3, p. 101–131, 1978.

HUERGO, Maria Carolina Cherchiglia. Diretrizes para inserção de práticas sustentáveis na melhoria da qualidade ambiental dos centros urbanos – Water Sensitive Urban Design: estudo de caso no município de Guaratuba. **Gestão Pública**, [*s. l.*], v. 6, n. 4, 2015. Disponível em: https://www.cadernosuninter.com/index.php/gestao-publica/article/view/555. Acesso em: 24 set. 2024.

ISTRATE, Aura-Luciana. Street Vitality: What Predicts Pedestrian Flows and Stationary Activities on Predominantly Residential Chinese Streets, at the Mesoscale?. **Journal of Planning Education and Research**, Thousand Oaks, v. 45, n. 1, p. 66–80, 2025.

JUNG, Carlos Fernando. **Metodologia para pesquisa e desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar?cluster=13661247955031013501&hl=en&oi=scholarr. Acesso em: 28 fev. 2025.

KANG, T. Scan to BIM Mapping Process Description for Building Representation in 3D GIS. **Applied Sciences (Switzerland)**, Basel, v. 13, n. 17, 2023. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85170395404&doi=10.3390%2fapp13179986&partnerID=40&md5=f2528b60a896c294158998706405cb49.

KLINK, Jeroen; STROHER, Laisa Eleonora Maróstica. The making of urban financialization? An exploration of brazilian urban partnership operations with building certificates. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 69, p. 519–528, 2017.

LAGE, Selena Duarte Lage e. O planejamento urbano para além da oposição urbano-rural: perspectivas e desafios para a consolidação no brasil de sistemas e práticas integrados de planejamento territorial. **Oculum Ensaios**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 155–167, 2017.

LAWRENCE, Denise L.; LOW, Setha M. The Built Environment and Spatial Form. **Annual Review of Anthropology**, Palo Alto, v. 19, n. Volume 19, 1990, p. 453–505, 1990.

LI, Y.; FENG, H. Comprehensive spatial LCA framework for urban scale net zero energy buildings in Canada using GIS and BIM. **Applied Energy**, Amsterdam, v. 388, 2025. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-86000753123&doi=10.1016%2fj.apenergy.2025.125649&partnerID=40&md5=e5f2a9f3eb9700afe837173e420f4ab9.

LIMA, Evandro Gonzalez *et al.* Smart and Sustainable Cities: The Main Guidelines of City Statute for Increasing the Intelligence of Brazilian Cities. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 3, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/1025. Acesso em: 26 jan. 2026.

LIMA, Ricardo Carvalho de Andrade; MONASTERIO, Leonardo. FAR regulations and the spatial size of Brazilian cities. **Regional Studies**, Abingdon, v. 59, n. 1, p. 2376121, 2024.

LINKOUS, Evangeline R. Transfer of development rights in theory and practice: The restructuring of TDR to incentivize development. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 51, p. 162–171, 2016.

LIU, C. *et al.* BIM/IFC-based 3D spatial model for condominium ownership: A case study of China. **Geo-Spatial Information Science**, Abingdon, v. 27, n. 5, p. 1638–1656, 2024.

LU, A. Autonomous Assembly as the Fourth Approach to Generic Construction. **Architectural Design**, Londres, v. 87, n. 4, p. 128–133, 2017.

LU, X. *et al.* CIM-powered multi-hazard simulation framework covering both individual buildings and urban areas. **Sustainability (Switzerland)**, Basel, v. 12, n. 12, 2020. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85086936148&doi=10.3390%2fsu12125059&partnerID=40&md5=d4f937c53f35b618454f7411e84e09b0. Acesso em: 4 jul. 2025.

LYU, H.-M. *et al.* Analysis and GIS mapping of flooding hazards on 10 May 2016, Guangzhou, China. **Water**, Basel, v. 8, n. 10, 2016. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84994418172&doi=10.3390%2fw8100447&partnerID=40&md5=fb73ad4291d660b2c22aeeff2cea654a. Acesso em: 4 jul. 2025.

MALINOWSKI, Patricia; SCHWARZ, Peter; WU, Jy. Fee Credits as an Economic Incentive for Green Infrastructure Retrofits in Stormwater-Impaired Urban Watersheds. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, Reston, v. 6, p. 04020015, 2020.

MARICATO, Ermínia. O impasse da política urbana no Brasil. São Paulo, 2011. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/002248032. Acesso em: 7 dez. 2025.

MARINA NICOLETTI SIMPLICIO, Ana Elisa Silva de Abreu. Planejamento municipal e evolução da ocupação em área sujeita a inundações na divida dos municípios de Campinas e Jaguariúna, SP. **Geociências**, Campinas, v. 40, n. 2, p. 539–550, 2021.

MARQUES, Cristiano Pena Magalhães; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Artificialização de cursos d'água urbanos e transferência de passivos ambientais entre territórios municipais : reflexões a partir do caso do Ribeirão Arrudas, Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 10, n. 2, p. 100–117, 2014.

MARTINS, Maria Lucia Refinetti; MAGAMI, Douglas Tadashi. Solo Criado em São Paulo: terra virtual produzindo espaço e desigualdade. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 25, n. 56, p. 143–164, 2023.

MATTE JUNIOR, Alexandre Aloys; SPRICIGO, Gisele; RUFFONI, Janaína. Uma análise de resiliência regional para o Vale do Paranhana/RS/Brasil. **Cidades. Comunidades e Territórios**, Lisboa, n. Sp23, 2023. Disponível em: https://journals.openedition.org/cidades/6919. Acesso em: 16 out. 2024.

MENGUE, Vagner *et al.* Análise da expansão urbana em áreas suscetíve à inundação utilizando o modelo HAND: o caso da Região Metropolitana de Porto Alebre, Brasil. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Porto, v. 12, 2017. Disponível em: http://www.cegot.org/ojs/index.php/GOT/article/view/2017.12.010. Acesso em: 16 fev. 2026.

MIANA, Anna Christina. **Adensamento e forma urbana: inserção de parâmetros ambientais no processo de projeto**. 2010. 394 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-19012011-092832/. Acesso em: 21 abr. 2026.

MOFFATT, Sebastian; KOHLER, Niklaus. Conceptualizing the built environment as a social–ecological system. **Building Research & Information**, Londres, v. 36, n. 3, p. 248–268, 2008.

MONTANDON, Daniel Todtmann; MARTINS, Pamella Tosti Rosante. O caráter multidimensional da Quota Ambiental para a qualificação ambiental em São Paulo. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 12, n. 85, 2024. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5028. Acesso em: 21 abr. 2026.

MOON, Byunggeor; AHN, Sungin. The effects of a FAR regulation in a model of durable building with redevelopment: The case of New York City. **Regional Science and Urban Economics**, Amsterdam, v. 95, p. 103775, 2022.

MOURA, Albert Einstein Spindola Saraiva De *et al.* Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 461–469, 2009.

NADALIN, Vanessa Gapriotti. Revitalização de áreas centrais nas cidades brasileiras por meio da mobilização de investimentos privados. **Texto para Discussão (Ipea)**, DF, v. 2862, p. 1–31, 2023.

NIELSEN, Joshua; FARRELLY, Megan A. Conceptualising the built environment to inform sustainable urban transitions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Amsterdam, v. 33, p. 231–248, 2019.

NOARDO, F. *et al.* Opportunities and challenges for GeoBIM in Europe: developing a building permits use-case to raise awareness and examine technical interoperability challenges. **Journal of Spatial Science**, Abingdon, v. 65, n. 2, p. 209–233, 2020.

NOBRE, Antonio Donato *et al.* HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent: Mapping Flood Hazard Potential Using Topography. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 30, n. 2, p. 320–333, 2016.

OECD; LINCOLN INSTITUTE OF LAND POLICY; PKU-LINCOLN INSTITUTE CENTER. **Global Compendium of Land Value Capture Policies**. Paris: OECD Publishing, 2022. (OECD Regional Development Studies). Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/global-compendium-of-land-value-capture-policies_4f9559ee-en.html. Acesso em: 3 dez. 2025.

OLIVEIRA, Wevelton Ney Machado de *et al.* O impacto da implantação dos Sistemas Urbanos de Drenagens Sustentáveis (SUDS) em um bairro central de uma cidade de grande porte de Minas Gerais. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 13, n. 88, 2025. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5514. Acesso em: 21 nov. 2025.

ONG, Boon Lay. Green plot ratio: an ecological measure for architecture and urban planning. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 63, n. 4, p. 197–211, 2003.

ORLENO MARQUES DA SILVA, Cláudio Fabian Szlafsztein. A Importância dos Conceitos de Ameaça, Vulnerabilidade e Risco em Planos Diretores Municipais: Estudo de Caso no Município de Alenquer (Pará). **Revista Geoamazônia**, [*s. l.*], v. 1, n. 1, p. 64–80, 2013.

OSAWA, Thiago Masaharu *et al.* Hydrological Benefits of Green Roof Retrofitting Policies: A Case Study of an Urban Watershed in Brazil. **Water**, Basel, v. 17, n. 13, p. 1936, 2025.

PARAMITA, Beta; KUSUMA, Hanson Endra; MATZARAKIS, Andreas. Urban performance based on biometeorology index in high-density, hot, and humid cities. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 80, p. 103767, 2022.

PELDEN, Sonam *et al.* Enhancing infrastructure planning and design through BIM-GIS integration. **Structure and Infrastructure Engineering**, Abingdon, v. 0, n. 0, p. 1–20,

PENNA, Livea *et al.* A utilização de reservatórios no amortecimento de vazões de cheia: apresentação e discussão de casos do sudeste brasileiro. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Porto, v. 0, n. 16, p. 275–295, 2019.

PEREIRA, Maria Cristina Santana *et al.* Soluções baseadas na natureza: quadro da ocupação da cidade de São Paulo por células de biorretenção. **Revista LABVERDE**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 95–120, 2021.

PEREIRA, A.P.; PROKOPIUK, M. The convergenceof geopraphic information systems and building information modeling for city information modeling in Curitiba: an institutional theory-based approach. **Theoretical and Empirical Researches in Urban Management**, Bucareste, v. 20, n. 2, p. 32–60, 2025.

PERES, Renata Bovo; CHIQUITO, Elisângela de Almeida. Ordenamento territorial, meio ambiente e desenvolvimento regional: novas questões, possíveis articulações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 71–71, 2012.

PESSOA, Lorayne Costa; FILHO, Antônio Aderson dos Reis; ROCHA, João Víctor Vieira. O cadastro territorial multifinalitário como ferramenta no planejamento urbano / The multifinalitary territorial registry as a tool for urban planning. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 915–926, 2019.

PETTOELLO, G.; STENDARDO, L. Urban regeneretion: A multidisciplinary approach. **Disegno**, Milão, v. 2019, n. 4, p. 201–212, 2019.

PICHAIMANI, V.; MANJULA, K.R. Research directions on GIS database design and management. **Indian Journal of Science and Technology**, Chennai, v. 9, n. 39, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i39/92774. Acesso em: 4 jul. 2025.

PINHEIRO, Beatriz *et al.* Cidades Resilientes: A minha cidade está a preparada? - Análise do município de Três Rios/RJ segundo parâmetros da UNISDR. *In*: XIX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2022, Canela. **Anais [...]**. Canela: [*s. d.*], 2022. p. 1–13. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2235. Acesso em: 15 nov. 2024.

PIRAS, Giuseppe; MUZI, Francesco; ZYLKA, Claudia. Integration of BIM and GIS for the Digitization of the Built Environment. **Applied Sciences**, Basel, v. 14, n. 23, p. 11171, 2024.

PLANO DIRETOR DE IGREJINHA - RS. Igrejinha-RS, 2006. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-igrejinha-rs. Acesso em: 22 fev. 2025.

PLANO DIRETOR DE PAROBÉ - RS. Parobé-RS, 2001. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-parobe-rs. Acesso em: 22 fev. 2025.

PLANO DIRETOR DE TAQUARA - RS. [*S. l.*], 2022. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-taquara-rs. Acesso em: 20 fev. 2025.

PLANO DIRETOR DE TRÊS COROAS - RS. Três Coroas-RS, 2006. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-tres-coroas-rs. Acesso em: 22 fev. 2025.

PRADELLA, Décio Luiz Pinheiro; BUENO, Laura Machado de Mello. Expansão Urbana em Unidade de Conservação de Uso Sustentável: conflitos entre a política local e o interesse regional. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 5, n. 33, 2017. Disponível

em:
https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/1603. Acesso em: 14 dez. 2025.

QIU, H. *et al.* Three-Dimensional Simulation of Surveillance Camera in Global Health Security. **Journal of Commercial Biotechnology**, Washington, v. 27, n. 5, p. 104–125, 2022.

QUEIROZ NETO, Exzolvildres; RIBEIRO, Karoline; VARGAS, Luciane. O xadrez da organização do espaço: o jogo do(s) plano(s) no território do município. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v. 22, n. 46, p. 37–53, 2016.

REDONDO, E. Research applied to the field of architectural graphic expression through digital means. Reference framework and roadmap. **VLC Arquitectura**, Valência, v. 10, n. 2, p. 203–224, 2023.

REIS, Ricardo Prado Abreu; ILHA, Marina Sangoi de Oliveira; TEIXEIRA, Paula de Castro. Sistemas prediais de infiltração de água de chuva: aplicações, limitações e perspectivas (D.O.I.: 10.5216/reec.v7i3.27672). **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 7, n. 3, 2013. Disponível em: https://revistas.ufg.br/reec/article/view/27672. Acesso em: 3 dez. 2024.

REZENDE, Vera F. *et al.* A Outorga Onerosa do Direito de Construir e o Solo Criado: uma necessária avaliação das matrizes conceituais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 51–71, 2009.

RING, Zita; DAMYANOVIC, Doris; REINWALD, Florian. Green and open space factor Vienna: A steering and evaluation tool for urban green infrastructure. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdam, v. 62, p. e127131, 2021.

ROLNIK, Raquel *et al.* O programa Minha Casa Minha Vida nas Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 17, n. 33, p. 127–154, 2015.

RYZHAKOVA, G. *et al.* Construction Project Management with Digital Twin Information System. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, Nova Délhi, v. 12, n. 10, p. 19–28, 2022.

SALGADO, Monica Santos. **Cidades habitáveis: Uma análise dos indicadores propostos pelas normas**. [*S. l.*]: [*s. d.*], 2023. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/3492. Acesso em: 15 nov. 2024.

ŠAMANOVIĆ, S. *et al.* Challenges and Opportunities for BIM-GIS Integration – BIRGIT Case Study. **Tehnicki Glasnik**, Varazdin, v. 18, p. 75–83, 2024.

SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993.

SANTOS, Nicole Chacon dos *et al.* **Análise da Aplicação da ferramenta Quota Ambiental no município de São Paulo**. [*S. l.*]: [*s. d.*], 2023a. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/003158972. Acesso em: 28 mar. 2026.

SANTOS, Nicole Chacon dos *et al.* **Análise da aplicação da ferramenta Quota Ambiental no município de São Paulo**. [*S. l.*]: [*s. d.*], 2023b. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/003158972. Acesso em: 28 mar. 2026.

SANTOS, Pedro Tyaquiçã da Silva. **Balanço hídrico em teto com cobertur vegetal no semiárido pernambucano**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5886/1/arquivo7111_1.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

SANTOS, Rosana Campos dos; CASTAÑON, José Alberto Barroso. Construção de Cidades Resilientes: quais os passos a serem seguidos?. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 17, p. e260111738994, 2022.

SARAN, S. *et al.* Utilities of Virtual 3D City Models Based on CityGML: Various Use Cases. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, Nova Délhi, v. 46, n. 6, p. 957–972, 2018.

SILVA, Romantiezer Theodoro Gomes da. A Outorga Onerosa do Direito de Construir: O solo criado e o direito a moradia. **Direito em Movimento**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 124–145, 2019.

SILVA, Felipe Rainho. Densificação e sustentabilidade em uma comunidade: como é possível?. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 4, n. 27, 2016. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/1357. Acesso em: 17 abr. 2026.

SILVA, Daniele *et al.* Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 1–0, 2024.

SILVA, P. *et al.* Instumentos Urbanísticos para incremento de vegetação em áreas urbana: Análise comparada a partir da quota ambiental do município de São Paulo. São Luis, v. 8, p. 167–187, 2019.

SILVA JUNIOR, Orleno Marques da; SZLAFSZTEIN, C.F. A Importância dos Conceitos de Ameaça, Vulnerabilidade e Risco em Planos Diretores Municipais: Estudo de Caso no Município de Alenquer (Pará). **Geoamazônia**, Belém, v. 1, n. 1, p. 64–80, 2025.

SILVA, Maycon; LIMA, Daniela; RIBEIRO, Márcia. Governança de água e planejamento urbano: aproveitamento de água de chuva para construção de cidades mais resilientes. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 18–0, 2021.

SILVA, Ranniel Martins; MORAES, Lucia Maria. O Estatuto da Cidade e o controle social do solo criado em Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, Blumenau, v. 3, n. 2, p. 179–196, 2015.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, Salvador, v. 1, n. 1, p. 58–72, 2013.

SOUZA, Filipe Bellincanta de; ROCHA, Isa de Oliveira. Considerações sobre o marco de Sendai e a política nacional de proteção e defesa civil do Brasil. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 23, p. e232857–e232857, 2026.

SUGIHARA, K. Straight skeleton computation optimized for roof model generation. **Journal of WSCG**, Pilsen, v. 2019, n. 2019 WSCG2019CSRN2901, p. 101–109, 2019.

TEICHMANN, M. *et al.* A Tool for Identifying Suitable Places for the Placement of Blue-Green Infrastructure Elements, a Case Study on the Cities of the Moravian-Silesian Region, Czech Republic. **Water**, Basel, v. 16, n. 3, 2024. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85184724938&doi=10.3390%2fw16030424&partnerID=40&md5=879cd2ea82c4151bbefd577ed71df2a3.

TEIXEIRA, Rylanneive Leonardo Pontes; PESSOA, Zoraide Souza. Planejamento urbano e adaptação climática: entre possibilidades e desafios em duas grandes cidades brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, v. 38, p. e0165, 2021.

TEODORO, Pacelli Henrique Martins; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Mudanças climáticas: algumas reflexões. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 3, 2008. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/13513. Acesso em: 21 fev. 2025.

TUCCI, Carlos; CRUZ, Marcus. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 59–71, 2008.

ULTRAMARI, Clovis; DE OLIVEIRA DA SILVA, Roberto C. E.; MEISTER, Gisela. Idealizing Brazilian cities: Their master plans from 1960 through 2015. **Cities**, Amsterdam, v. 83, p. 186–192, 2018.

USUI, Hiroyuki. Building height distribution under zoning regulations: Theoretical derivation based on allometric scaling analysis and application to harmonise building heights. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, Londres, v. 48, n. 9, p. 2520–2535, 2021.

VALENTE, Pedro; OLIVEIRA, Guilherme; GUASSELLI, Laurindo. Espacialização das áreas de inundação nos municípios de Igrejinha e Três Coroas, bacia hidrográfica do rio Paranhana/RS. *In*: IX SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORGOLOGIA, 2012, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: [*s. d.*], 2012.

VASCONCELOS, Anaí Floriano; NÓBREGA DOS SANTOS, Maria Fernanda; PACELI BARBASSA, Ademir. Estratégias e oportunidades de ação para adoção de manejo sustentável de águas pluviais urbanas no Brasil. **Revista DAE**, São Paulo, v. 71, n. 241, p. 92–111, 2023.

VIANA, Danylo de Araujo *et al.* TOMADA DE DECISÃO PARA ENCHENTES URBANAS: SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA E INFRAESTRUTURA VERDE. **REVISTA FOCO**, [*s. l.*], v. 17, n. 9, p. e5863–e5863, 2024.

VICENTE, Ana Paula Camargo de; FARIA, Karla Maria Silva de; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins. Models and Values of Fees and Incentives for Financing Sustainable Urban Drainage. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 36, p. e71221x, 2024a.

VICENTE, Ana Paula Camargo de; FARIA, Karla Maria Silva de; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins. Models and Values of Fees and Incentives for Financing Sustainable Urban Drainage. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 36, n. 1, 2024b. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/71211. Acesso em: 1 dez. 2025.

VIEIRA, Rafaela; ISENSEE, Leandro José; CLAUDINO, Gilson de Oliveira. Instrumentos legais como ferramentas para redução de riscos e desastres a inundações. **Redes. Revista do Desenvolvimento Regional**, Santa Cruz do Sul, v. 25, p. 1953–1972, 2020.

VILLAÇA, Flávio José Magalhães. Espaço intra-urbano no Brasil. São Paulo, p. 373, 2001.

VILLANUEVA, Adolfo *et al.* Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 5–18, 2011.

VINCENT, Santiago Urrestarazu *et al.* Enhancing the Economic Value of Large Investments in Sustainable Drainage Systems (SuDS) through Inclusion of Ecosystems Services Benefits. **Water**, Basileia, v. 9, n. 11, p. 841, 2017.

WALSH, Christopher J *et al.* Principles for urban stormwater management to protect stream ecosystems. **Freshwater Science**, Chicago, v. 35, p. 398–411, 2016.

WANG, M.; WONG, P.K.-Y.; CHENG, J.C.P. A BIM-GIS Framework Integrated with CCTV Analytics for Urban Walkability Assessment. **Sensors**, Basel, v. 25, n. 12, 2025. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105008943682&doi=10.3390%2fs25123637&partnerID=40&md5=7c9686459958e591c21b258e5cee46f4.

WILLIAM, Reshmina; GARG, Jugal; STILLWELL, Ashlynn S. A game theory analysis of green infrastructure stormwater management policies. **Water Resources Research**, Washington, v. 53, n. 9, p. 8003–8019, 2017.

WOODS BALLARD, Bridget *et al.* **The SuDS manual**. London: CIRIA, 2015. (CIRIA C, nº 753).

XAVIER, Renata Lucon *et al.* Análise de instrumentos urbanísticos aplicados à gestão de risco de inundações: : O caso do município de Lajeado (RS). **Metodologias e Aprendizado**, Blumenau, v. 8, p. 460–481, 2025.

XIA, H. *et al.* Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design: A review and bibliometric analysis of geographic information system and building information modeling integration. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 84, 2022. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85132815297&doi=10.1016%2fj.scs.2022.104009&partnerID=40&md5=33efaa15ee604be019ef2c8052141624.

YING, S. *et al.* Easement spatialization with two cases based on LADM and BIM. **Land Use Policy**, [*s. l.*], v. 109, 2021. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85112486299&doi=10.1016%2fj.landusepol.2021.105641&partnerID=40&md5=f50cc088d02921b21c700c0e34353e93.

YOGI, Fernando; STANGANINI, Fábio Noel. Comparação e Avaliação de Modelos Digitais de Elevação dos sensores SRTM, ASTER, TANDEM/TERRASAR –X, NASADEM, COPERNICUS DEM e ALOS PALSAR para análise digital de terreno para aplicações no saneamento básico. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 12, n. 1, p. e13812139350–e13812139350, 2023.

ZENG, L.; PENG, Q. Bibliometric Analysis and Science Mapping Approach in Digital Landscape Published in WoS and JoDLA from 2010 to 2021. **Journal of Digital Landscape Architecture**, Berlim, v. 2022, n. 7, p. 570–591, 2022.

ZHOU, Qianqian. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. **Water**, Basel, v. 6, n. 4, p. 976–992, 2014.

ZHOU, Qianqian; LENG, Guoyong; HUANG, Maoyi. Impacts of future climate change on urban flood volumes in Hohhot in northern China: benefits of climate change mitigation and adaptations. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 22, n. 1, p. 305–316, 2018.