

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Mestrado em Ciências Ambientais



Anelise Morais dos Santos

Pelotas, 2024

Anelise Moraes dos Santos

**INTEGRAÇÃO DE PRÁTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COM
ÊNFASE EM DRENAGEM URBANA: CONTRIBUIÇÕES PARA A AGENDA 2030 NO
MUNICÍPIO DE PELOTAS-RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais

Orientadora: Dr.^a Andréa Souza Castro

Pelotas, 2024.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

S237i Santos, Anelise Moraes dos

Integração de práticas de desenvolvimento sustentável com ênfase em drenagem urbana [recurso eletrônico] : contribuições para a Agenda 2030 no município de Pelotas-RS / Anelise Moraes dos Santos ; Andréa Souza Castro, orientadora. — Pelotas, 2024.
165 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. LID. 2. Drenagem sustentável. 3. Medidas de controle da fonte. 4. Escoamento superficial. I. Castro, Andréa Souza, orient. II. Título.

CDD 363.7

Elaborada por Simone Godinho Maisonave CRB: 10/1733

Integração de Práticas de Desenvolvimento Sustentável com Ênfase em Drenagem Urbana: Contribuições para a Agenda 2030 no Município de Pelotas-RS

por

Anelise Morais dos Santos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, PPGCAmb, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Ciências Ambientais

Banca Examinadora:

Prof. Dr.^a Andréa Souza Castro – Orientador (UFPel)

Prof. Dr.^a Diuliana Leandro (Universidade Federal de Pelotas)

Prof. Dr.^a Rita de Cassia Fraga Damé (Universidade Federal de Pelotas)

Pelotas, 19 de dezembro de 2024.

Anelise Morais dos Santos

Integração de Práticas de Desenvolvimento Sustentável com Ênfase em Drenagem Urbana: Contribuições para a Agenda 2030 no Município de Pelotas-RS.

Exame de qualificação aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pelo Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa Final: 19 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Andréa Souza Castro (Orientadora)

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Dr.^a Diuliana Leandro

Doutora em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná

Prof.^a Dr.^a Rita de Cassia Fraga Damé

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo

SANTOS, Anelise Morais dos. **Integração de Práticas de Desenvolvimento Sustentável com Ênfase em Drenagem Urbana: Contribuições para a Agenda 2030 no Município de Pelotas-RS** Orientadora: Prof.^a Dr.^a Andréa Souza Castro. 2024. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas

O aumento populacional nas últimas décadas tem acelerado o processo de urbanização desordenada, intensificando problemas relacionados à infraestrutura hídrica nas áreas urbanas, como inundações e alagamentos. Diante desse cenário, a presente pesquisa busca revisar e integrar as normativas legislativas municipais, utilizando materiais pertinentes, com o objetivo de promover uma urbanização sustentável e adotar alternativas eficazes para a gestão das águas pluviais. Inicialmente, foi realizada uma análise bibliométrica de caráter quantitativo e qualitativo, com levantamento e estudo das publicações da última década indexadas na base de dados Scopus. A pesquisa enfocou as técnicas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID) e os principais desafios para sua implementação, alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6 e 11 (ODS 6 e 11). Os resultados obtidos subsidiaram a revisão bibliográfica e a formulação da metodologia de análise, que incluiu estudos de caso baseados em cenários temporais, acompanhados do monitoramento de áreas específicas no perímetro urbano do município de Pelotas, RS, por meio de sensoriamento remoto. Os resultados indicaram que, em todas as áreas estudadas, houve aumento dos níveis de impermeabilização, resultando no aumento dos volumes de água escoados superficialmente. O estudo de caso 4 foi particularmente destacado, apresentando um aumento significativo no coeficiente de escoamento (29,27%), o que gerou uma alteração relevante na vazão estimada ($7,69 \text{ m}^3/\text{s}$). O diagnóstico final dos estudos revelou condições propícias e a necessidade urgente de incentivo e aprofundamento da pesquisa e aplicação de técnicas de drenagem sustentável, visando mitigar os problemas identificados.

Palavra-chave: desenvolvimento urbano de baixo impacto; manejo sustentável de águas pluviais; medidas de controle da fonte; escoamento superficial.

Abstract

The population growth observed in recent decades has accelerated the process of unplanned urbanization, exacerbating issues related to water infrastructure in urban areas, such as flooding and inundation. In response to this scenario, the present research seeks to review and integrate municipal legislative regulations, using relevant materials, with the objective of promoting sustainable urban development and adopting effective alternatives for urban stormwater management.

To support this objective, a bibliometric analysis was conducted, combining both quantitative and qualitative approaches, based on a survey of publications from the past decade indexed in the Scopus database. The research focused on Low Impact Development (LID) techniques and the primary challenges associated with their implementation, aligned with Sustainable Development Goals 6 and 11 (SDG 6 and SDG 11).

The findings from this initial stage informed the literature review and guided the development of the analytical methodology, which incorporated case studies based on temporal scenarios. These case studies were complemented by the monitoring of specific areas within the urban perimeter of Pelotas, RS, using remote sensing techniques. The results demonstrated that all analyzed areas experienced an increase in impervious surfaces, contributing to greater surface runoff volumes. Case study 4, in particular, stood out, showing a significant increase in the runoff coefficient (29.27%), which resulted in a substantial change in the estimated flow rate ($7.69 \text{ m}^3/\text{s}$).

The final diagnosis highlighted both the favorable conditions for adopting sustainable drainage practices and the urgent need to foster further research and application of these techniques to mitigate the identified issues.

Keywords: Low Impact Development; sustainable stormwater management; source control measures; surface runoff.

Lista de Figuras

Figura 1-Projeto de ampliação urbana do Município de Pelotas proposto por Rullmann	10
Figura 2- Área Urbana do Município de Pelotas no ano de 1926.....	11
Figura 3- Área Urbano do Município de Pelotas no ano de 1953.....	12
Figura 4- Evolução do Crescimento espacial urbano.....	13
Figura 5 - Mapa Temático de Vazios Urbanos.	19
Figura 6- Mapa Temático U14 Limites de Alturas	20
Figura 7 – Esquema de composição do Instrumento de Planejamento e Gestão (PMSB).....	25
Figura 8 - Mapa temático U8 III PDP Áreas de Interesse Ambiental Natural	26
Figura 9 - Representação gráfica do fluxo dos esgotos e dos resíduos sólidos não coletados para o sistema de drenagem.	33
Figura 10- Mapa Geral da Infraestrutura	34
Figura 11- Efeito da Implementação de Técnicas LID.....	36
Figura 12- Ilustração esquemática dos conceitos de reservação e canalização.....	37
Figura 13- Evolução da concepção voltada a DMAPU.....	38
Figura 14- Mancha de Inundação referente a enchente de 2024 Pelotas/RS.....	41
Figura 15- Fluxograma das etapas que constituem a metodologia da pesquisa.....	42
Figura 16- Regiões Administrativa do município de Pelotas RS	45
Figura 17- Estrutura de metodologia.....	49
Figura 18- Mapa de Localização Áreas de Estudo.....	50
Figura 19- Mapa de Localização da Área de Estudo 1.....	51
Figura 20-Mapa de Localização da Área de Estudo 2.....	52
Figura 21- Mapa de Localização da Área de Estudo 3.....	53
Figura 22- Mapa do uso e ocupação do solo da análise 4.....	54
Figura 23- Mapa de localização da análise em construção.....	55
Figura 24-Gráfico com número de publicações por ano após aplicação do string de busca na plataforma Scopus.....	64
Figura 25- Mapa de Relações das palavras chaves que compõem a pesquisa.....	67

Figura 26-Mapa de Relações das palavras chaves que compõem a pesquisa mediante referência temporal.....	68
Figura 27 -Rede de Interação das palavras chaves relacionadas com a palavra LID.	70
Figura 28 Rede de Interação das palavras chaves relacionadas com a palavra Low Impact Development.	70
Figura 29- Mapa de Uso e Ocupação A1	73
Figura 30- Mapa de Expansão Urbana análise 1	77
Figura 31- Perfil de Elevação A1 Subárea Umuarama.....	78
Figura 32- Perfil de Elevação A1 Subárea Cruzeiro.....	79
Figura 33- Projeto de Infraestrutura Drenagem Urbana Parque Una.	80
Figura 34- Projeto de Infraestrutura Drenagem Urbana – Reserva Técnica	81
Figura 35- Registros efetuados durante inspeção técnica (fiscalização de execução das redes de drenagem pluvial).	82
Figura 36-Mapa de Uso e Ocupação Estudo de caso 2	84
Figura 37-Mapa de Expansão Urbana da análise 2	86
Figura 38- Perfil de Elevação Are de estudo 2.....	87
Figura 39- Projeto de Infraestrutura Urbana Bairro Quartier.	88
Figura 40 - Projeto de Infraestrutura Rede de Esgoto Pluvial- exutório B. Quarter .88	
Figura 41 - Locais considerados disponíveis para a inserção de reservatórios na bacia.....	89
Figura 42- Visão Geral do acesso ao Bairro Quartier.....	89
Figura 43- Proposta de Implantação de um Empreendimento	90
Figura 44- Dinâmica de escoamento atual.....	91
Figura 45- Mapa de Uso e Ocupação - 2022/2023	92
Figura 46- Mapa de Expansão urbana da análise 3.....	94
Figura 47- Perfil de Elevação da Área 3.....	95
Figura 48- Projeto de Infraestrutura Urbana Drenagem Urbana	96
Figura 49- Imagens durante inspeção técnica no canteiro de obra.....	96
Figura 50- Detalhe do Reservatório de Retardo Pluvial	98
Figura 51-. Evolução temporal da execução do reservatório de Retardo Pluvial	98
Figura 52- Detalhamento Dispositivo Atenuador de Pico	99
Figura 53-Mapa de Uso e Ocupação do Solo - 2010/2022.	101
Figura 54- Mapa da análise de cenários estudo de caso 4	104

Figura 55- Perfil de Elevação da Área 4 – Subáreas Veredas e Alphaville.....	105
Figura 56- Projeto de Infraestrutura -Drenagem Urbana- Condomínio Alphaville ..	106
Figura 57- Projeto de Infraestrutura -Drenagem Urbana- Condomínio Rivieira.	106
Figura 58- Projeto de Infraestrutura -Drenagem Urbana- Condomínio Veredas	107
Figura 59- Perfil de Elevação da Área 4 – Subáreas Amarílis.....	108
Figura 60- Projeto Infraestrutura –Drenagem Urbana - Loteamento Amarílis.	108
Figura 61- Projeto Infraestrutura –Drenagem Urbana - Loteamento Amarílis	109
Figura 62- Localização Reservatório de Amortecimento.....	110
Figura 63- Detalhe do Trecho de entrada Amortecimento por Infiltração.....	111
Figura 64- Detalhe do Amortecimento por Infiltração	111
Figura 65-Mapa de Uso e ocupação do solo da análise 5.	113
Figura 66- Mapa de Uso e ocupação do solo da análise 5.	115
Figura 67- Perfil Área 5 Moradas Pelotas.	115
Figura 68- Projeto de Infraestrutura de Drenagem Urbana Residencial Oleiro I.	116
Figura 69 - Projeto de Infraestrutura de Drenagem Urbana Residencial Oleiro II ...	116
Figura 70- Projeto de Infraestrutura de Drenagem Urbana Loteamento Liberdade.	117
Figura 71- Imagem aéreas da bacia de retenção.....	118
Figura 72- Projeto de Infraestrutura- Drenagem Urbana Condomínio Moradas Pelotas 2 Ildefonso.....	118
Figura 73 - Análise comparativa dos coeficientes de escoamento superficial geradas nas áreas analisadas	123
Figura 74- Analise comparativa das vazões máxima geradas nas áreas analisadas	123

Lista de Tabelas

Tabela 1 - As etapas do planejamento urbano no Brasil.....	8
Tabela 2- Principais contribuições na legislação voltado ao planejamento urbano... Tabela 3- Principais contribuições voltadas a legislação ambiental.....	21
Tabela 4- Legislações voltadas ao Saneamento Básico.....	28
Tabela 5 - Área total de cada região que compõem dos estudos de caso.....	57
Tabela 6 - Coeficientes recomendados pela ASCE, (1969)	58
Tabela 7 -Dados obtidos Google Earth pro, de cada área para dimensionamento... Tabela 8- Definição de <i>String</i> de busca na base Scopus.....	60
Tabela 9- Apresentação dos operadores booleandos.....	62
Tabela 10- Especificação de Critério (inclusão e exclusão) estabelecidos para a aplicação da metodologia.....	63
Tabela 11 - Relevância das citações por países em virtude do acoplamento bibliográfico.	66
Tabela 12- Especificações Quantitativa dos Cluster da análise das palavras chaves	66
Tabela 13- Coocorrência de palavras-chave.....	69
Tabela 14- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 1- Subárea- Cruzeiro cenário -2002 -2022.....	74
Tabela 15- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 1- Subárea- Umuarama cenário 2002- 2022.....	76
Tabela 16- Tabela 8- Descrição do índice Kappa	77
Tabela 17-Resumo da análise de comparação- Estudo de Caso 2—Quartier cenário -9/2002 – 2/2023.	85
Tabela 18- Descrição do índice Kappa	85
Tabela 19 -Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 3-- Cidade Alta - 2002 2023.	93
Tabela 20- Descrição do índice Kappa	93
Tabela 21- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 4 Subárea- Amarilis cenário -2010 a 2022.....	102

Tabela 22- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 4 Subárea-Veredas e Alphaville cenário -2010 a 2022.....	103
Tabela 23- Descrição do índice Kappa	104
Tabela 24- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 5 Subárea- B Moradas e Liberdade cenários -2011 0 2023.....	114
Tabela 25- Descrição do Indice Kappa	114
Tabela 26 – Estimativas do tempo de concentração e intensidade de precipitação média pluviométrica.	122
Tabela 27- Estimativa do tempo de retorno para 2, 5, 10, 50 e 100 anos respectivamente	122

Lista de Abreviaturas e Siglas

DMAPU	Drenagem e Manejo de Aguas Pluviais Urbanas
IPH	Instituto de Pesquisa Hidráulica
LID	Low Impact Development
PDP	Plano Diretor de Pelotas
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PMP	Prefeitura Municipal de Pelotas
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SANEP	Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIS	Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico

Sumário

1	INTRODUÇÃO	2
2.1	OBJETIVOS	4
2.1.1	Geral	4
2.1.2	Específicos	4
2.1.3	HIPÓTESES	5
3	Referencial Teórico	6
3.1	Concepção urbana	6
3.2	Planejamento Urbano.....	14
3.3	Legislação e Seus Conflitos	27
3.4	Drenagem Urbana e suas concepções	33
4	METODOLOGIA MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1	Análise Bibliométrica	43
4.2	Análise Bibliográfica	43
4.3	Caracterização das áreas de estudos de casos.....	49
4.3.1	Estudo de Caso 1- Área São Gonçalo.....	51
4.3.2	Estudo de Caso 2- Área específica no Bairro Quartier	52
4.3.3	Estudo de Caso 3- Área específica no Bairro Cidade Alta.	53
4.3.4	Estudo de Caso 4- Área Altos do Laranjal.....	54
4.3.5	Estudo de Caso 5- Área específica da Avenida Ildefonso Simões Lopes.	55
4.4	Dimensionamento Hidráulico	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1	Análise Bibliométrica	61
5.2	Análise Quantitativa	71
5.2.1	Estudo de Caso 1- Área específica na região São Gonçalo.....	71

5.2.2	Estudo de Caso 2- Área específica no Bairro Quartier	83
5.2.3	Estudo de Caso 3- Área específica no Bairro Cidade Alta.	91
5.2.4	Estudo de Caso 4- Área específica na região alta do bairro Laranjal....	99
5.2.5	Estudo de Caso 5 - Área específica Avenida Ildefonso Simões Lopes	112
6	Implementação de Técnicas LID nas áreas estudadas.....	120
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	1
	Anexos	10

PROBLEMA DE PESQUISA

- Frente aos desafios do manejo de águas pluviais é evidente a necessidade de um planejamento estratégico urbano capaz de atender as demandas de forma integrada.
- No entanto as legislações vigentes na maioria das cidades brasileiras apresentam diversas lacunas prejudicando o controle dos seus respectivos impactos na drenagem advindo o crescimento urbano não ordenado.

JUSTIFICATIVA

A justificativa de pesquisa tem como embasamento as seguintes considerações:

- a) As diretrizes do planejamento urbano muitas vezes, estimulam o uso e a ocupação dos solos de forma independente das características do ambiente natural, possibilitando assim uma condição de vulnerabilidade social tendo em vista as mudanças climáticas.
- b) A escassez de informações voltada a caracterização da bacia hidrográfica diante da expansão urbana proporciona uma condição que dificulta a tomada de decisões adequadas voltada ao planejamento de drenagem urbana;
- c) As atividades de planejamento urbano de modo geral não contemplam o eixo de drenagem urbana como interface da infraestrutura na elaboração das diretrizes de uso e ocupação do solo, sendo evidenciadas como inconsistências legislativas.
- d) Com o propósito de aprimoramento das tomadas de decisões pelo poder público, busca-se utilização de ferramentas baseada em geoprocessamento. O instrumento permite a elaboração de análise em ambiente Sistema de Informações Geográficas visando a agilidade e modernização nos processos decisórios, pois permite uma visualização clara do crescimento dos espaços urbanos ao longo dos anos.

1 INTRODUÇÃO

O processo de crescimento urbano gera demandas que se traduzem em pressões significativas sobre a infraestrutura municipal. A expansão urbana, que impulsiona o uso e a ocupação do solo, resulta em diversas consequências, entre as quais se destaca a impermeabilização das bacias de drenagem, o avanço desordenado da população e a utilização inadequada da capacidade de suporte ambiental. Esses fatores culminam na degradação do meio ambiente, como apontado por Righetto et al. (2017).

Essas condições impactam diretamente a qualidade de vida, uma vez que o crescimento urbano descontrolado superou a capacidade do planejamento urbanístico de acompanhar o desenvolvimento das cidades. Esse crescimento desordenado ocorre frequentemente sem o acompanhamento adequado dos sistemas de infraestrutura, conforme indicam Marques (2006) e Neves e Tucci (2011).

A expansão urbana leva à diminuição da cobertura vegetal, causando alterações consideráveis no ciclo hidrológico, conforme destaca Projeto de Pesquisa (2023). A modificação do ambiente natural para áreas urbanizadas resulta na impermeabilização do solo, em razão da remoção da vegetação para a construção de infraestrutura urbana. Essa transformação promove o aumento do escoamento superficial, gerando efeitos significativos, sobretudo nas regiões localizadas em áreas mais baixas.

Essas modificações no ambiente natural contribuem para o surgimento de situações de vulnerabilidade social, pois as áreas com particularidades geológicas, como a estabilidade do solo, sofrem diretamente com as intervenções humanas. Essa dinâmica da expansão urbana, que impacta negativamente o meio ambiente, reduz a vegetação nativa e facilita a ocupação irregular do solo, especialmente em encostas, gerando problemas graves e colocando em risco a vida dos moradores, como destacam Cerqueira et al. (2021).

Muitas cidades brasileiras enfrentam sérias dificuldades durante eventos pluviométricos. A topografia, o uso e a ocupação do solo, bem como a existência ou falta de sistemas de drenagem, desempenham papéis fundamentais na gravidade desses eventos.

Esses fatores resultam no aumento do volume de escoamento superficial no sistema de drenagem urbana, o que acentua os impactos ambientais, como enchentes, evidenciados com frequência em cidades como Pelotas, RS. A cidade, devido ao seu relevo plano e alto grau de urbanização, enfrenta desafios significativos nesse âmbito, ressaltando a necessidade de investimentos na área de saneamento básico, ainda carente de desenvolvimento, como sugerido por Lima et al. (2019).

A abordagem convencional da drenagem urbana, de caráter higienista, tem como objetivo a rápida evacuação das águas pluviais para áreas de cota inferior. No entanto, desde a década de 1970, em países como os Estados Unidos e nações europeias, emergiu uma nova perspectiva, conhecida como drenagem alternativa ou drenagem sustentável, que propõe soluções inovadoras para o gerenciamento das águas pluviais. A gestão das águas urbanas, integrada ao contexto do saneamento ambiental, atualmente abrange aspectos como o abastecimento de água potável, esgotamento sanitário e a gestão de resíduos sólidos, conforme estabelecido pela Lei 14.026/2020.

Diante do exposto, a presente pesquisa tem como objetivos identificar as regiões da cidade onde tiveram mudanças significativas ao longo dos anos, caracterizar o sistema de drenagem urbana, considerando as intervenções resultantes do crescimento urbano, além de verificar se práticas sustentáveis de drenagem urbana estão sendo aplicadas nos empreendimentos recentes no município. A análise de imagens georreferenciados permitiu um diagnóstico preciso da atual situação do crescimento urbano, com ênfase no saneamento básico, particularmente na drenagem. A pesquisa também propõe a implementação de soluções sustentáveis para o manejo das águas pluviais, com base nos conceitos de Infraestruturas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), que visam restaurar as características naturais do ciclo hidrológico. Busca-se, assim, fomentar a criação de cidades mais resilientes, capazes de garantir uma alta qualidade de vida tanto para as gerações atuais quanto para as futuras.

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Geral

Através da análise temporal de algumas áreas da cidade de Pelotas-RS, este estudo busca investigar o crescimento urbano do município, visando fornecer subsídios para concepção de técnicas LID aplicadas na legislação de ordenamento territorial vigente, bem como o melhor planejamento de águas pluviais urbanas.

2.1.2 Específicos

- 2.1. Identificar as principais mudanças no uso e ocupação do solo ao longo do tempo e em diferentes áreas específicas da cidade de Pelotas-RS, abrangendo cinco regiões: 1) Região de São Gonçalo, 2) Bairro Quartier, 3) Bairro Cidade Alta, 4) Alto do Bairro Laranjal, e 5) Avenida Ildefonso Simões Lopes.
- 2.2. Analisar o crescimento urbano nas regiões estudadas, verificando se foram implementadas estratégias de planejamento urbano voltadas para a adequada gestão das águas pluviais;
- 2.3. Propor as soluções mais adequadas, incorporando os conceitos de LID (Low Impact Development), em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU;
- 2.4. Aprimorar os conhecimentos visando fundamentar as futuras versões do Plano Diretor e de Saneamento municipal.

2.1.3 HIPÓTESES.

A hipótese central deste estudo é que o crescimento urbano recente no município de Pelotas-RS não foi direcionado de maneira a assegurar uma gestão adequada das águas pluviais. A adoção de técnicas alinhadas ao conceito de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) na promoção da infraestrutura urbana pode mitigar os efeitos negativos do escoamento superficial resultante da urbanização não planejada.

Outra hipótese deste estudo é que a aplicação de geotecnologias na análise temporal e no monitoramento da urbanização em Pelotas será fundamental para a melhoria dos Planos Diretores e do Plano Municipal de Saneamento Básico. Espera-se que essas ferramentas contribuam para a implementação de técnicas mais sustentáveis no manejo da drenagem urbana.

3 Referencial Teórico

Na abertura do referencial bibliográfico desta pesquisa, almeja-se estabelecer uma base teórica sólida para a compreensão do papel crucial do Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) na mitigação dos efeitos adversos decorrentes do escoamento superficial em contextos urbanos não planejados. O referencial visa explorar as contribuições acadêmicas preexistentes que delineiam os princípios, técnicas e benefícios associados ao emprego de práticas sustentáveis na infraestrutura urbana. Apesar de se tratar de expressões semelhante

3.1 Concepção urbana

Os primeiros assentamentos humanos concentraram-se em áreas próximas a corpos hídricos, dada sua relevância para o consumo, a higiene e a agricultura de subsistência. No entanto, essa proximidade trouxe desafios significativos, como inundações e a contaminação dos recursos hídricos Baptista e Coelho, (2014). A drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas, parte fundamental do saneamento básico, têm historicamente sofrido com a escassez de investimentos. Em 2021, 45,3% dos municípios brasileiros reportaram a ausência de profissionais especializados na área SNIS, (2023).

Ao longo da história, os corpos d'água desempenharam um papel central na formação de núcleos urbanos, como evidenciam as intervenções hidráulicas em civilizações antigas como o Egito e a Mesopotâmia Cunha, (2019). Contudo, o progresso no saneamento estagnou durante a Idade Média, com uma retomada gradual apenas no Renascimento Rocha, (2016).

No Brasil, a urbanização intensificou os impactos sobre os recursos hídricos, frequentemente tratados como entraves ao crescimento urbano. Sem políticas adequadas, cidades como Rio de Janeiro, São Paulo e Pelotas alteraram cursos naturais, agravando problemas ambientais. Em Pelotas, a modificação do Arroio Santa Bárbara comprometeu a dinâmica urbana, expondo os efeitos de intervenções

inadequadas e ocupações irregulares, com consequências negativas para o equilíbrio ambiental e social Silva, (2007).

Relatos históricos também reforçam os problemas ocasionados pela má gestão hídrica. Um relatório da Diretoria de Higiene de 1916 descreve que:

as águas contaminadas e podres do Santa Bárbara levaram resíduos em decomposição e as substâncias fétidas ficaram depositadas no leito do arroio e expelem odores insuportáveis que afetarão o ambiente, expulsando miasmas e contribuindo para estabelecer um estado higiênico intolerável em seu entorno.

Segundo Pinheiro e Santos (2019), o planejamento urbano brasileiro, influenciado por ideais racionalistas e positivistas, ignorou as dinâmicas naturais dos cursos d'água, adotando traçados geométricos rígidos que refletem a crença na supremacia técnica sobre o ambiente. Exemplos emblemáticos incluem a canalização e retificação dos rios Pinheiros e Tietê em São Paulo, sendo que o Rio Pinheiros teve até seu curso invertido para favorecer a expansão urbana Seabra, (2021). Intervenções similares ocorreram em Belo Horizonte, com a canalização do Ribeirão Arrudas para atender às demandas da urbanização Pinheiro, (2019).

A urbanização desordenada, intensificada pelo êxodo rural durante a Revolução Industrial, sobrecarregou as infraestruturas herdadas do período colonial, resultando em adaptações precárias e na proliferação de doenças, como ocorreu no Rio de Janeiro no século XIX Taschner, (1997); Vaz, (1985). Enquanto cidades europeias, como Londres, Paris e Berlim, avançavam em saneamento e regulação urbana em resposta ao crescimento populacional Hall, (1995), no Brasil, a ausência de legislação e planejamento estratégico ampliou a vulnerabilidade territorial. As primeiras regulamentações priorizaram infraestrutura urbana, como saneamento e transporte, mas negligenciaram o ordenamento do uso do solo Cruz, (1987); Leme, (1999).

Esse panorama evidencia a urgência de políticas públicas que integrem urbanização e sustentabilidade ambiental, promovendo um desenvolvimento equilibrado e resiliente. O processo de organização espacial no Brasil pode ser dividido em três períodos, conforme descreve a Tabela 1.

Tabela 1 - As etapas do planejamento urbano no Brasil.

1º período - por volta de 1875 até 1930	1875 a 1906 – ascensão dos planos de melhoramentos e embelezamento. 1906 a 1930 – declínio dos planos de melhoramentos e embelezamento
2º período - vai de 1930 até por volta de 1990.	1930 a 1965 - a primeira fase do Urbanismo e do Plano Diretor. 1965 a 1971 - a segunda fase do Planejamento Integrado e os Superplanos. 1971 a 1992 - a terceira fase do Plano sem Mapa
3º período - perdurou durante o século XX, mais precisamente entre os anos de 1992 a 2001	

Fonte: Villaça (2010), organizado por GUILHERME, O.D.S. (2019).

O primeiro período da urbanização brasileira, segundo Bertoni, (2016), caracteriza-se por uma ênfase em higiene e salubridade, refletindo as heranças urbanísticas coloniais e as mudanças decorrentes da industrialização. Esse contexto impactou diretamente a circulação e a densidade dos centros urbanos. Durante a Revolução Industrial, o êxodo rural intensificou os desafios enfrentados pelas cidades, cujas infraestruturas precárias mostraram-se insuficientes para atender às novas demandas populacionais, especialmente nos municípios com traços coloniais.

Em Pelotas, o Código de Posturas Lei Provincial (1717/1888) proibiu a existência de cortiços na área central, buscando mitigar os problemas urbanos. No entanto, tal medida contribuiu para a expansão de ocupações periféricas em áreas desprovidas de infraestrutura básica BPP, (1881). Políticas semelhantes foram implementadas em grandes cidades, como Rio de Janeiro e São Paulo, onde, conforme Chalhoub, (1996), as intervenções urbanas forçaram as chamadas "classes perigosas" a migrarem para as periferias, acentuando a segregação socioespacial.

No Recife do século XIX, o crescimento associado às atividades portuárias, especialmente ligadas ao comércio de açúcar e algodão, resultou em desequilíbrios ambientais provocados pela interação entre terra e água, conforme destaca Arruda, (2006) e Burger, (2008). Em resposta a esses desafios, a concepção das cidades-jardins, idealizada por Saturnino de Brito, marcou o início de um urbanismo integrado no Brasil, no qual infraestrutura sanitária e paisagismo atuavam em conjunto, consolidando-se como referência nos estudos urbanos de acordo com Abreu, (2008).

Localizada na zona sul do Rio Grande do Sul, Pelotas desenvolveu-se nas margens da Laguna dos Patos e do canal São Gonçalo. Sua morfologia urbana é marcada por largas vias dispostas em um padrão de "tabuleiro de xadrez", situado na

porção mais elevada da planície e delimitado por três cursos d'água principais Soares, (2017). Nesse contexto, Brito realizou intervenções que conciliavam saneamento e estética, como a criação de ruas sanitárias e pequenos parques em áreas subutilizadas, harmonizando funcionalidade e paisagem Arruda, (2006).

Em 1870, a cidade de Pelotas ainda não havia estabelecido um serviço público de abastecimento de água que atendesse de forma satisfatória às necessidades da população. Essa carência era incompatível com o status de uma cidade que, em pleno apogeu econômico, aspirava a consolidar-se como referência no cenário do Rio Grande do Sul, conforme enfatiza Xavier, (2010).

As influências dos projetos urbanísticos dos Países Baixos no século XIX são notáveis, especialmente no uso de canais como elementos estruturadores de infraestrutura sanitária e paisagismo. Em Pelotas, o canal da Rua General Argolo é um exemplo emblemático dessa integração entre funcionalidade sanitária e estética Farias, (2015). Brito, reconhecido por respeitar os traçados urbanos existentes, priorizou intervenções como vielas sanitárias, avenidas-canais e espaços públicos que valorizavam tanto a estética quanto a funcionalidade das cidades Andrade, (1992).

Em consonância com tais princípios, no ano de 1924 foi apresentado o plano de ampliação urbana concebido por Rullmann, o qual delineava um modelo de crescimento estruturado de maneira funcional, com a organização do território em zonas específicas. Essa proposta destacava-se pela integração de elementos relacionados ao saneamento, à infraestrutura e à paisagem, estabelecendo diretrizes que, ainda hoje, constituem referência para o planejamento urbano contemporâneo, conforme exemplificado na Figura 1.

Figura 1-Projeto de ampliação urbana do Município de Pelotas proposto por Rullmann



Fonte: Adaptação por Taborda (2012).

O zoneamento funcional proposto apresenta-se como uma estratégia urbanística que organiza o espaço urbano em diferentes áreas, definidas de acordo com suas funções predominantes. Para facilitar a identificação visual e o planejamento, adota-se uma codificação cromática que categoriza as zonas de forma clara e sistemática. Na Figura 1, as zonas são classificadas da seguinte maneira: laranja (zona comercial), rosa (zona industrial), azul (zona de habitação de elite), verde (zona de habitação operária), amarelo (zona de habitação burguesa) e roxo (zona destinada ao hipódromo). Essa metodologia busca otimizar o uso do solo urbano, promovendo uma integração entre as funções econômicas, sociais e recreativas. Adicionalmente, destaca-se a preservação de dois importantes cursos d'água, representados na codificação cromática como vermelho para o Canal Santa Bárbara e azul para o Canal do Pepino.

Embora essa proposta tivesse como intuito promover um crescimento urbano proporcional e ordenado, a evolução temporal da cidade demonstrou dinâmicas divergentes. Conforme os dados disponibilizados pelo portal de informações geográficas da Prefeitura de Pelotas (geo Pelotas), na galeria específica "Pelotas – Crescimento Espacial Urbano", é possível analisar a expansão territorial da cidade no período de 1815 a 2015. Nesse contexto, observa-se a expansão da área central em

direção ao sul até o ano de 1822. Após alcançar os limites com o Canal São Gonçalo, o crescimento urbano concentrou-se ao longo de dois principais eixos viários, Norte-Sul e Leste-Oeste, estabelecidos entre 1916 e 1926, que correspondem, atualmente, às avenidas Domingos de Almeida e Duque de Caxias.

Posteriormente, o eixo Norte-Sul foi consolidado em 1953, com a formação das avenidas Fernando Osório e Dom Joaquim, além do surgimento dos primeiros parcelamentos periféricos de caráter popular Xavier, (2010).

Essas transformações são documentadas no portal por meio de uma sequência de doze mapas. Contudo, para enfatizar o estabelecimento dos dois principais eixos viários, destacam-se os mapas referentes aos anos de 1926 Figura 2, 1953 Figura 3 e 2015 Figura 4.

Figura 2- Área Urbana do Município de Pelotas no ano de 1926.



Fonte: GeoPelotas, 2023.

No período compreendido entre 1926 e 1953, verificou-se a formação de novos parcelamentos periféricos que promoveram uma significativa expansão da área urbana, alcançando, em determinadas direções, os limites atualmente estabelecidos. Esse intervalo temporal foi marcado por intensas dinâmicas de crescimento urbano, incluindo o início do processo de expansão nas direções norte e nordeste, abrangendo os bairros Areal e Três Vendas, a intensificação do desenvolvimento na direção

oeste/noroeste, no bairro Fragata, e a ocupação de áreas de baixa cota altimétrica situadas nas proximidades do núcleo central da cidade.

Além disso, evidencia-se o surgimento de loteamentos balneários ao longo das margens da Laguna dos Patos, assim como a consolidação do eixo de crescimento urbano associado à atual Avenida Fernando Osório. De acordo com Silva e Polidori (2004)), esse período é caracterizado pela formação de núcleos habitacionais conhecidos como "vilas", entre as quais se destacam as Vilas Caruccio (1922), Castilhos, (1928) e Bom Jesus,(1930), que constituem exemplos expressivos da ocupação urbana periférica à época.

Figura 3- Área Urbano do Município de Pelotas no ano de 1953



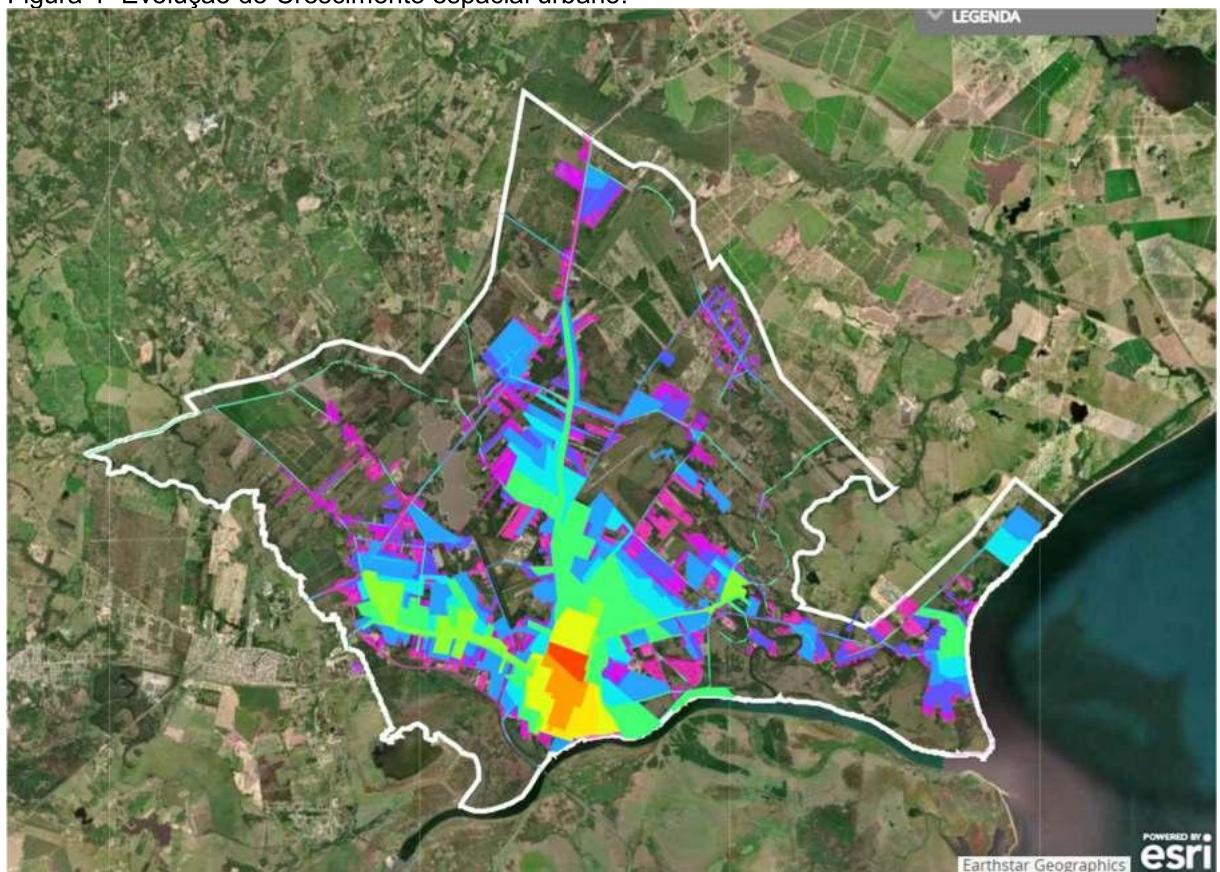
Fonte: GeoPelotas, 2023.

Além disso, o portal disponibiliza acesso a informações detalhadas sobre diversos serviços públicos, promovendo a transparência e subsidiando a análise e o planejamento urbano com base em dados históricos e geográficos. Essa abordagem fundamentada contribui para uma gestão territorial mais eficiente e embasada em evidências.

Com relação à análise temporal do crescimento espacial urbano, a Figura 4

apresenta o mapa intitulado "Resumo do Ano de 2015", sendo esta a referência mais recente disponível no portal. Esse mapa destaca a sobreposição das manchas urbanas correspondentes aos anos de 1815, 1835, 1882, 1916, 1926, 1953, 1965, 1988, 2006 e 2015, evidenciando as diferentes etapas de expansão por meio de uma sequência gradativa de tonalidades.

Figura 4- Evolução do Crescimento espacial urbano.



Fonte: GeoPelotas, 2023.

Essas representações, desenvolvidas com o uso de tonalidades diferenciadas, evidenciam de forma clara e detalhada a dinâmica das transformações espaciais e territoriais que ocorreram na cidade ao longo de dois séculos.

As discrepâncias marcantes entre os modelos urbanísticos idealizados em planos de desenvolvimento e a configuração territorial atualmente observada revelam os impactos de fatores sociais, econômicos e ambientais. Simultaneamente, tais representações destacam as estratégias urbanísticas implementadas ao longo do processo de urbanização. Essa abordagem constitui um recurso valioso para a compreensão das dinâmicas territoriais que configuraram a cidade de Pelotas, oferecendo importantes subsídios para análises históricas e prospectivas de seu desenvolvimento urbano.

3.2 Planejamento Urbano

A partir da década de 1950, com a consolidação de um modelo econômico pautado pelo desenvolvimentismo, que estimulou a industrialização e promoveu transformações profundas nas relações entre os espaços urbanos e rurais, as cidades assumiram um papel central no processo de modernização socioeconômica. Nesse cenário, o planejamento urbano firmou-se como uma ferramenta estratégica essencial para a gestão e o ordenamento territorial, sendo progressivamente incorporado como componente fundamental nas políticas públicas elaboradas e implementadas pela Administração Pública Federal.

Esse período desempenhou um papel crucial na conformação da sociedade brasileira contemporânea, marcada por alternâncias de regimes políticos, construção e desconstrução de instituições, diversidade nas abordagens das políticas econômicas e sociais, além de crises que influenciaram o desenvolvimento nacional, conforme analisado por Giambiagi et al. (2016).

De acordo com Nascimento Neto (2015), o planejamento urbano, coordenado pelo Governo Federal em um contexto de crescente urbanização, cumpre a função de articular os entes federativos, coordenar ações consorciadas e estabelecer incentivos e diretrizes que promovam práticas colaborativas e integradas. Contudo, para que o planejamento urbano seja efetivo, é imprescindível que sua formulação considere de maneira integrada as dimensões econômica, social e ambiental, visando à promoção do desenvolvimento sustentável.

O conceito de desenvolvimento sustentável, amplamente reconhecido, fundamenta-se na capacidade de alcançar progresso suficiente para satisfazer as necessidades da geração atual sem comprometer os recursos e condições indispensáveis para atender às demandas das gerações futuras. Esse modelo propõe a preservação da integridade dos recursos naturais e ambientais, assegurando sua continuidade e disponibilidade ao longo do tempo.

Embora a teoria tenha apontado o desenvolvimento sustentável como objetivo central, os instrumentos de regulação urbana, de modo geral, não alcançaram plenamente essa meta. O crescimento urbano desordenado permaneceu uma questão significativa, resultando em impactos negativos, como os efeitos das

mudanças climáticas, cujas consequências têm se tornado motivo de crescente preocupação diante da intensificação de eventos climáticos extremos nos últimos anos.

A primeira conduta legislativa com intuito de regar a ocupação do solo está na Lei 601 de 1850 que dispõe das Terras Devolutas no império e acerca das que são possuídas por título de sesmaria sem preenchimento das condições legais, ainda no período colonial. Denominada como lei das terras De acordo com Moreira et al, (2021). Essa legislação tinha a finalidade de reestruturar o sistema de propriedade da terra no Brasil. Após a elaboração desta com relação a questão voltada ao parcelamento do solo foi necessário mais de um século para se ter uma legislação mais específica. Então, em dezembro de 1979 foi elaborada a Lei 6766.

Em Pelotas a promulgação do denominado Código de Posturas que disciplinava as construções e reconstruções é estabelecido em 1915, num contexto de declínio dos planos de embelezamento e melhoramentos urbanos. Essas normas foram implementadas em articulação com a instalação da rede de esgotamento sanitário da cidade. Diante do aumento da densidade populacional na área central, o Código tinha como objetivo fomentar padrões de conforto, higiene e segurança, fundamentando-se nas práticas adotadas em grandes centros urbanos, como São Paulo, Rio de Janeiro e outras cidades internacionais.

I Plano Diretor de Pelotas 1968

A formulação do primeiro Plano Diretor de Pelotas ocorreu em um contexto influenciado por correntes teóricas urbanísticas predominantes no Brasil ao longo do século XX. Esse instrumento representou um avanço ao consolidar o regime urbanístico municipal por meio de textos normativos e plantas cartográficas detalhadas. Segundo Taborda (2012), influências marcantes incluíram os Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna (CIAM), o movimento Économie et Humanisme, liderado por Louis-Joseph Lebret, a metodologia do Urban Survey e a atuação do Serviço Federal de Habitação e Urbanismo (SERFHAU).

Uma transformação significativa observada nesse período foi a transição do conceito de urbanismo para o de planejamento urbano, caracterizada por uma abordagem voltada para o ordenamento territorial com base na delimitação de zonas funcionais, em consonância com as teorias urbanísticas predominantes da época. No

núcleo central do município, predominavam lotes de dimensões reduzidas, com edifícios modernos implantados de acordo com padrões tradicionais

Entretanto, em áreas periféricas, onde os terrenos apresentavam dimensões mais amplas, as residências já incorporavam recuos frontais e laterais, mesmo antes de tais características se tornarem obrigatórias por imposição legal. Esse padrão de organização evidenciava a adoção de uma concepção de espaço urbano "moderno", posteriormente consolidada com a implementação do novo Plano Diretor.

Determinações relativas aos loteamentos:

Não será permitida a construção em lotes com área inferior a 215m² e testada inferior a 8,50m, salvo em terrenos escriturados ou averbados no registro de imóveis em data anterior a vigência da apresentada lei e respeitada a cota ideal mínima (CI) na zona considerada quando para fins residenciais. (PELOTAS, 1968, p.151).

Intensidade de ocupação do solo, o plano estabelece:

Conservar no centro tradicional, sua atual tendência de intensidade de ocupação afim de não tornar anacrônicas, pela mudança brusca de critérios, as edificações recentes e não permitir alterações dos índices estabelecidos pelo plano, mesmo em suas reavaliações periódicas. (PELOTAS, 1968, p. 94)

Nesse período, observou-se uma transição do conceito de urbanismo para o planejamento urbano, com ênfase no ordenamento territorial por meio da delimitação de zonas funcionais, em consonância com as teorias urbanísticas vigentes. A destinação de usos para essas zonas estabeleceu que atividades comerciais e industriais de menor impacto fossem concentradas na área central, aproveitando suas características que minimizavam conflitos com outros usos urbanos. Por outro lado, indústrias potencialmente poluentes foram concentradas ao longo da linha férrea e nas margens do Arroio Santa Bárbara, refletindo os processos históricos que moldaram o desenvolvimento urbano do município, em um contexto no qual a preservação ambiental ainda não era prioridade.

No centro de Pelotas, predominavam lotes de pequenas dimensões e edificações modernas construídas conforme padrões tradicionais, enquanto as áreas periféricas, caracterizadas por terrenos maiores, já apresentavam recuos frontais e laterais antes de sua obrigatoriedade legal. Esse padrão de urbanização espelhava uma visão "moderna", posteriormente consolidada no Plano Diretor, mas resultou em

crescimento acelerado, surgimento de vazios urbanos e demandas por infraestrutura fragmentadas e subaproveitadas.

Os principais eixos de desenvolvimento identificados foram no sentido norte-sul, com as avenidas Fernando Osório, Santos Dumont e General Osório, e no sentido leste-oeste, com as avenidas Domingos José de Almeida, Bento Gonçalves e Duque de Caxias. Apesar do avanço representado pelo Plano Diretor, ele não contemplou adequadamente a interação de Pelotas com seus limites geográficos, municípios vizinhos e a região de entorno, deixando lacunas significativas no planejamento regional.

II Plano Diretor de Pelotas 1980

A elaboração da segunda versão do Plano Diretor iniciou-se com uma revisão detalhada das ações anteriores e suas consequências, conduzida por uma equipe técnica designada especificamente para este fim. Durante a década de 1980, observou-se uma crescente politização da questão urbana, com o ressurgimento da Reforma Urbana e a demanda por aprimoramento legislativo, visando regulamentar o uso e a ocupação do solo e estabelecer limites ao exercício do direito de propriedade Feldmann, (2011). Como resultado, foi promulgada a Lei nº 7.666, de 1979, que contribuiu significativamente para o controle e crescimento urbano.

Apesar da regulamentação, extensas áreas urbanas legais permaneciam desocupadas, cercadas por zonas ocupadas, o que requer uma análise sobre se essa inatividade decorre de retenção especulativa de terras ou de obstáculos técnicos e econômicos à urbanização. Caso os entraves sejam técnicos ou econômicos, torna-se essencial calcular os custos de integração dessas áreas à malha urbana e avaliar a viabilidade de conservar parte desses vazios urbanos como reservas verdes, atendendo à escassez de áreas verdes na cidade (PELOTAS, 1978c).

Um aspecto central do novo plano foi a flexibilização do zoneamento, contrastando com o modelo anterior de 1968. A criação de Zonas Mistas permitiu novos usos, acelerando a ocupação de áreas destinadas à baixa renda e promovendo a integração do trabalho à moradia (PELOTAS, 1978b). Além disso, a introdução dos Corredores Comerciais e de Serviço favoreceu uma maior diversidade de usos, unindo comércio, serviços e habitação multifamiliar, integrando atividades terciárias às zonas residenciais.

O sistema viário foi hierarquizado para otimizar a circulação urbana, com vias principais, coletoras e locais. O sistema principal distribuía fluxos de entrada e saída da cidade, enquanto as vias coletoras e principais locais apoiavam o transporte coletivo e a distribuição interna em grandes zonas. A estrutura viária permitia uma futura reclassificação das vias locais, ajustando as proporções entre faixas carroçáveis e passeios. Em conjunto, essas mudanças visavam acomodar o crescimento urbano de forma pragmática, aproveitando os vazios urbanos e evitando a expansão desordenada da cidade.

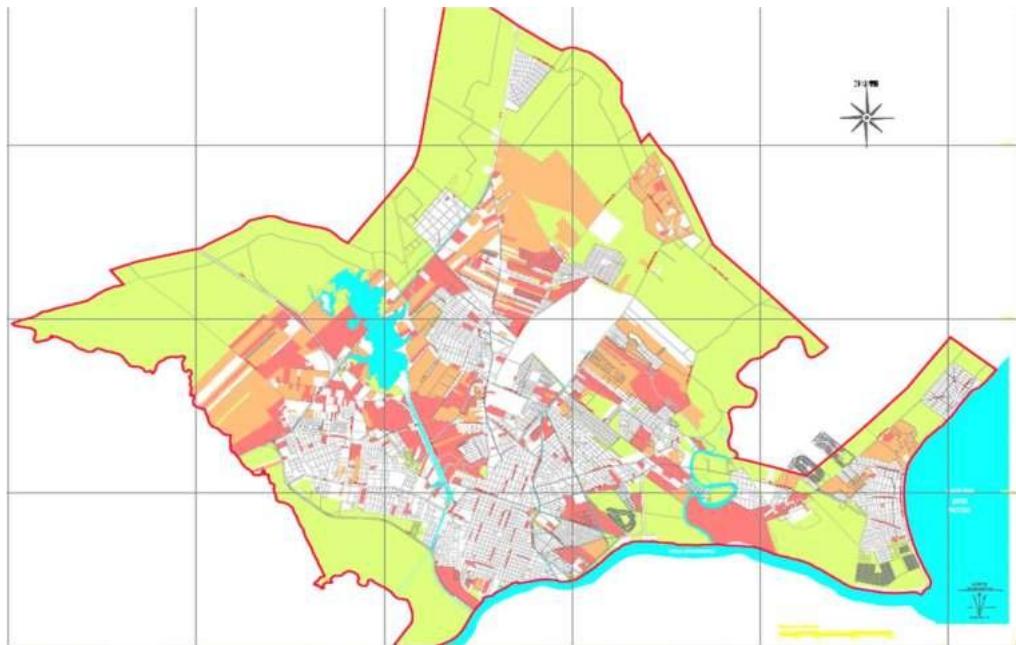
III Plano Diretor de Pelotas 2008

A terceira versão do Plano Diretor de Pelotas introduziu mudanças significativas com o objetivo de resolver os problemas identificados durante a vigência do segundo plano. A principal alteração foi a ampliação da participação social em todas as etapas do processo, com a inclusão de audiências públicas, visando integrar a sociedade nas decisões urbanísticas.

Nesta versão, a estrutura da cidade foi reformulada, deixando de ser dividida em zonas para ser organizada em regiões administrativas, estimulando um desenvolvimento mais dinâmico, mas gerando um aumento nos deslocamentos urbanos, o que impactou negativamente a mobilidade. Além disso, os parâmetros urbanísticos foram revisados, com a substituição do índice de aproveitamento por um novo critério, vinculado à localização e às dimensões do lote, e a introdução de um coeficiente de permeabilidade, incentivando a preservação de áreas verdes em cada lote.

Além disso, as áreas que apresentam particularidade relacionadas a fauna e flora local são classificadas como áreas de preservação, tendo parâmetro restrito de uso e ocupação, conforme será destacado da Figura 5.

Figura 5 - Mapa Temático de Vazios Urbanos.



Fonte: III PDP- GeoPelotas, 2023.

Com relação ao número de pavimentos permitidos o instrumento vigente estabelece que em logradouros com gabarito igual ou superior a 16 metros, permitem-se edificações de até 13 metros, desde que o terreno tenha testada mínima de 12 metros. Nas principais avenidas, são autorizados prédios de seis a oito pavimentos, enquanto no centro histórico, as construções se limitam a quatro ou, no máximo, seis pavimentos, conforme o entorno.

Conforme o III Plano Diretor de Pelotas (2008), onde foram consideradas as taxas de ocupação previstas, para cada sub-bacia em estudo, que seguem:

"Art. 123 - Em todo o perímetro urbano será permitida a edificação de até 10,00m (dez metros) de altura, observadas as seguintes disposições, conforme mapa U-14 em anexo à presente lei:

- I.Recuo de ajardinamento de 4,00m (quatro metros), o qual poderá ser dispensado através de estudo prévio do entorno imediato no caso de evidenciar-se, no raio de 100,00m (cem metros), a partir do centro da testada do lote, a existência de mais de 60% (sessenta por cento) das edificações no alinhamento predial;
- II.Recupo de ajardinamento secundário, nos terrenos de esquina, nas condições estabelecidas no inciso anterior, o qual se fará na testada do lote em que não se faça o recuo de ajardinamento principal com, no mínimo, 2,50m (dois metros e cinquenta centímetros);
- III.Isenção de recuos laterais;
- IV.Taxa de ocupação máxima de 70% (setenta por cento);
- V.Recuo de fundos mínimo de 3,00m (três metros).

Essas normas visam descentralizar o crescimento e o adensamento populacional, distribuindo-os por todo o perímetro urbano, conforme destacado na Figura 6.

Figura 6- Mapa Temático U14 Limites de Alturas



Fonte: III PDP- GeoPelotas, 2023

Uma modificação substancial no III Plano Diretor de Pelotas foi a diferenciação entre loteamento e condomínio, especialmente no âmbito da habitação multifamiliar. Após a implementação dessa versão, ajustes pontuais foram realizados, com destaque para as Leis nº 5.603 e nº 5.963, ambas promulgadas em 2009, que viabilizaram uma ocupação mais intensiva de áreas como o bairro Sítio Floresta. Conforme Pinto (2016), essas alterações legislativas permitiram a construção de empreendimentos em terrenos substancialmente maiores do que os limites originalmente estabelecidos para condomínios fechados, ampliando significativamente as permissões antes restritas.

Tais mudanças inscrevem-se em um conjunto de alterações pontuais realizadas no instrumento regulador vigente, que permanece em vigor há 16 anos. Além disso, o código de obras, anteriormente integrado ao plano diretor, foi reestruturado e transferido para uma seção complementar, com o objetivo de promover uma adaptação mais precisa às exigências do regramento urbano.

Outro impacto importante, que reflete a fragilidade da legislação urbana frente à dinâmica do planejamento, é o descompasso entre as diretrizes legais e a realidade socioambiental das cidades brasileiras. Esse descompasso é particularmente

evidente no aumento da ocupação irregular, como destacado por Maricato (2013). A expansão urbana em áreas sem diretrizes estruturadas fomenta problemas como a segregação socioespacial. Rolnik (1981) ainda observa que os instrumentos tradicionais de planejamento apenas delimitaram áreas irregulares sem efetivamente eliminá-las. Quando essas abordagens se mostram insuficientes, estratégias mais incisivas, como intervenções profundas em áreas centrais, têm sido adotadas, resultando muitas vezes na destruição e reconstrução de bairros, como observado em São Paulo.

O crescimento urbano acelerado, impulsionado pela expansão populacional, intensifica desafios relacionados ao abastecimento de água e à drenagem urbana, conforme apontam Carvalhais et al. (2019). Esse movimento frequentemente ocorre próximo a corpos hídricos, refletindo o histórico de transformação ambiental realizado pela humanidade para atender às suas necessidades de sobrevivência. À medida que as concentrações humanas aumentam, essas intervenções tornam-se mais destrutivas sob o ponto de vista ambiental, como constatado por Dias (2011).

Esses elementos expõem a complexidade inerente ao planejamento urbano em cenários de crescimento acelerado, evidenciando a necessidade de instrumentos regulatórios capazes de equilibrar desenvolvimento e sustentabilidade.

Como forma de apresentar a evolução temporal do arcabouço legislativo atual voltado ao planejamento urbano a Tabela 2 reuniu as principais contribuições. Ainda cabe destacar que em virtude da interdisciplinaridade envolvida algumas destas serão abordadas na sequencia.

Tabela 2- Principais contribuições na legislação voltado ao planejamento urbano.

Ano	1850	1963	1968	1979	1980	1984	1988	2001	2010	2012	2015	2017
Lei	601	1672	1672	6766	2565	2.870	CEF	10257	646	12.608	13.089	13.465

Fonte: autora (2024).

No município de Pelotas, as três versões do Plano Diretor abrangem um período de vigência iniciado em 1968, estendendo-se até o presente. Durante esse intervalo, a legislação foi influenciada por contextos e marcos históricos relevantes que merecem destaque:

A primeira versão do Plano Diretor foi elaborada em um cenário de intensos conflitos urbanos, marcado pela necessidade de reformas urbanas estruturantes. A segunda versão, por sua vez, precedeu a promulgação da Constituição Federal de 1988, que consolidou o direito à moradia digna como um princípio fundamental. Posteriormente, em 2001, o Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001) trouxe avanços significativos ao estabelecer diretrizes para o planejamento urbano no Brasil.

O Estatuto da Cidade regulamenta a obrigatoriedade dos Planos Diretores, que devem ser aprovados pelas Câmaras Municipais em municípios com mais de 20 mil habitantes. Esses planos são reconhecidos como instrumentos fundamentais para a política de desenvolvimento urbano, orientando o crescimento das cidades de forma sustentável e equitativa BRASIL, (2001). Em 2012, a Lei 12.608 alterou o Estatuto da Cidade, ampliando a obrigatoriedade do Plano Diretor para municípios incluídos no cadastro nacional de áreas suscetíveis a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas e outros processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

Embora essa atualização tenha objetivado a definição de áreas de risco, a realidade brasileira permanece distante dessa meta. O aumento de eventos extremos registrados nos últimos meses em diversas cidades evidencia a fragilidade da legislação. A ineficiência normativa tem contribuído para a expansão territorial descontrolada, em vez de promover diretrizes efetivas para o ordenamento urbano.

A elaboração de instrumentos como o Plano Diretor exige um planejamento que contemple as demandas sociais, econômicas e ambientais de forma integrada. Em Pelotas, por exemplo, a exigência de um coeficiente mínimo de permeabilidade para aprovação de projetos de edificações foi introduzida na versão vigente do regramento urbano.

Ademais, a falta de interação entre os departamentos municipais responsáveis pelos serviços de infraestrutura urbana tem gerado conflitos decorrentes de inconsistências na gestão pública. Atividades como pavimentação, qualidade ambiental, limpeza urbana e drenagem devem ser coordenadas de maneira sistêmica, dada sua interdependência. Assim, é imprescindível que o planejamento urbano seja concebido com visão integrada, a fim de superar os desafios e atender aos objetivos propostos.

Além disso, outra contribuição que merece destaque está contida na legislação complementar ao IIIPDP denominada código de obras onde estabelece o parâmetro de coeficiente de permeabilidade do solo CP, conforme salienta:

Para os casos de novas edificações, reformas com acréscimo de área construída, ou acréscimos em edificações existentes, serão exigidos o atendimento ao percentual mínimo de 20% (vinte por cento) de Coeficiente de Permeabilidade do Solo, calculado sobre a área do terreno.

Além do Coeficiente de Permeabilidade será exigida capacidade da Caixa de Captação e Drenagem – equivalente a, no mínimo, 1,00m³ (um metro cúbico) por economia na edificação – inclusive para Residências Unifamiliares, para fins de limpeza, abastecimento de caixas de descarga e regas de jardim e recomposição de reservas de incêndio”.

Atualmente o regramento é instituído pelo III Plano Diretor De Pelotas que entrou em vigor através da Lei número 5.502, do ano de 2008. Apesar de estar na terceira versão, esse instrumento ainda não atende de forma integrada as necessidades econômicas, sociais e ambientais que a cidade demanda. Segundo Pisani e Melo (2021) os planos diretores, na maioria das vezes, se limitam a um trabalho de zoneamento que basicamente reúne normas de parcelamento, uso e ocupação do solo que estão longe de cumprir sua principal tarefa que é o bem-estar da população. Ressalta-se, também, que as condições de uso e ocupação reais, normalmente, apresentam maiores taxas de impermeabilização do que aquelas de projeto previstas em Planos Diretores Urbanos, Souza et al, (2013).

Código de Instalações Prediais de Água e Esgoto no município de Pelotas

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), assim como o Plano Diretor Municipal (PDM), conta com legislações complementares que visam regulamentar aspectos específicos do ordenamento urbano. Nesse contexto, o PMSB é apoiado pelo Código de Instalações Prediais de Água e Esgoto, instituído pela Lei nº 2.870/1984. Este código estabelece diretrizes gerais para as instalações prediais e hidrossanitárias das edificações, garantindo padrões técnicos e normativos para o setor.

É importante destacar que o PMSB entrou em vigor em 2018, como previamente mencionado. Antes desse marco, as diretrizes relacionadas às instalações hidrossanitárias eram exclusivamente regidas pelo referido código. Considerando que se trata de um município de médio porte, características como a diversidade de conflitos e demandas urbanas evidenciam a necessidade de instrumentos normativos mais específicos e abrangentes para atender às complexidades locais.

Plano Municipal de Saneamento Básico

Como forma de minimizar essa problemática envolvida e complementar o regramento urbano de forma mais consistente, muitas cidades brasileiras elaboraram o Plano diretor de saneamento básico o qual estabelece diretrizes para o desenvolvimento da infraestrutura urbana. A cidade como de Porto Alegre que com apoio do Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH (UFRGS) elaborou esse importante instrumento que se encontra vigente a segunda versão, pois a terceira está sendo elaborada, conforme informa Prefeitura Municipal de Porto Alegre, (2022). No município de Pelotas o saneamento básico é responsabilidade do Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP) o qual possui o Plano Municipal de Saneamento Básico, em vigor regulamentado através do decreto número 6.114, de 17 de setembro de 2018.

O III Plano Diretor de Pelotas e o Plano Diretor de Saneamento apresentam convergência nas diretrizes urbanas e de expansão territorial, abrangendo todo o município e priorizando a ocupação de vazios urbanos e áreas de baixa densidade populacional, conforme o PMSB (2018). Sua elaboração fundamenta-se nas disposições constitucionais de 1988 e nos preceitos legais do Estatuto da Cidade, mediante a Lei Federal 10.257/2001 direcionando-se ao cumprimento da função social da propriedade, determinado assim que esta importante ferramenta de planejamento urbano seja revisada a cada 10 anos.

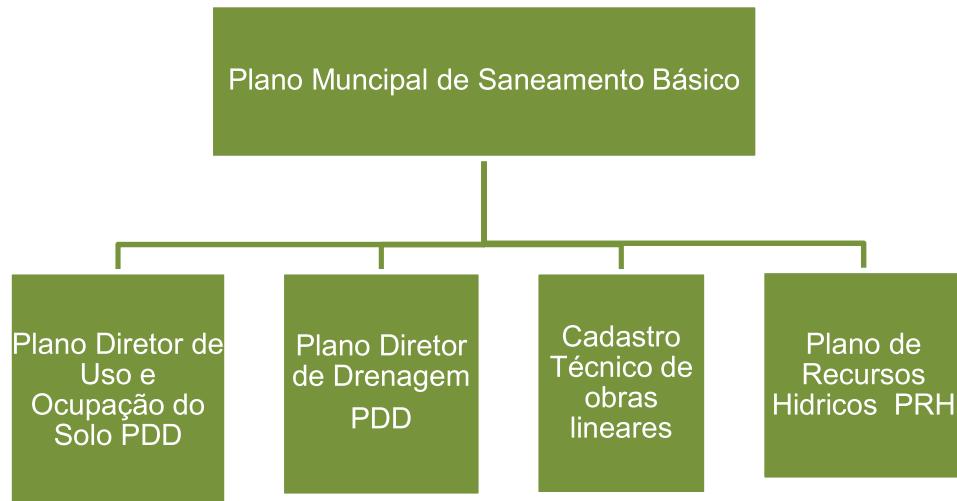
No entanto na prática a realidade do PMSB no município de Pelotas encontra-se em vigência a quatro anos, porem este instrumento baseia-se em levantamentos e estudos realizados do ano de 2012, refletindo, portanto, uma realidade que não corresponde ao contexto atual. Ademais, embora faça referência ao Plano Diretor Municipal vigente, sendo que este último se encontra também desatualizado.

Diante desse contexto é possível destacar a relevância de um planejamento de forma de forma integrada, ou seja, contendo toda as interfaces que constituem a infraestrutura urbana.

Além disso conforme definido na resolução 75 do ministério das cidades estabelece do ano de 2009 as seguintes diretrizes: Estabelece orientações relativas à Política de Saneamento Básico e ao conteúdo mínimo dos Planos de Saneamento Básico, diante dessa orienta destaca alguns aspectos

Considerando que a Resolução Recomendada do Conselho das Cidades nº 33 de 01 de março de 2007 recomenda a elaboração dos planos até dezembro de 2010,
 A visão integrada e a articulação dos quatro componentes dos serviços de saneamento básico nos seus aspectos técnico, institucional, legal e econômico;
 Revisão periódica em prazo não superior a 4 (quatro) anos, anteriormente à elaboração do Plano Plurianual (PPA).

Figura 7 – Esquema de composição do Instrumento de Planejamento e Gestão (PMSB)



Fonte: Diagnóstico Temático Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas adaptado pela autora, 2021

Os planos municipais mencionados visam o planejamento e a gestão integrada do saneamento, drenagem, e uso dos recursos naturais:

- O PMSB planeja a universalização do saneamento em 20 anos, com revisões periódicas, alinhado a outros planos urbanos e participação social.
- O PD é o principal instrumento para o planejamento do uso e expansão urbana, com foco na sustentabilidade.
- O PDD, vinculado ao PMSB, busca reduzir riscos hidrológicos e melhorar a gestão das águas pluviais.
- O Cadastro Técnico de Obras Lineares sistematiza dados sobre drenagem, essenciais para o PMSB, PDD e projetos técnicos.
- O Plano Diretor de Recursos Hídricos orienta a gestão sustentável das águas nas bacias hidrográficas locais, alinhado à política nacional.

Cabe uma contextualização que no caso do município de Pelotas apesar do PMSB está em vigência. O cadastro técnico não contempla os quatro eixos do

saneamento, resultando apenas no Sistema Abastecimento de Água e Sistema de Esgotamento Sanitário.

A sustentabilidade urbana e ambiental, bem como a preservação e proteção dos recursos naturais, constitui metas e diretrizes estabelecidas pelo Estatuto da Cidade. Essas diretrizes, como pontua Lemos (2010), deveriam ser contempladas de forma transversal e efetiva em cada plano diretor municipal.

A seguir, apresenta-se o mapa temático que destaca as áreas de interesse ambiental, com ênfase nas zonas que possuem restrições específicas, conforme ilustrado na Figura 8. Esse mapeamento evidencia as prioridades para a gestão territorial sustentável, proporcionando subsídios para um planejamento urbano que respeite os limites ambientais e promova a conservação dos ecossistemas locais.

Figura 8 - Mapa temático U8 III PDP Áreas de Interesse Ambiental Natural



Fonte: III PDP- GeoPelotas, 2024.

O item 5.2.2 do III Plano Diretor de Pelotas PMSB, (2018) reitera o reaproveitamento de águas pluviais está regulamentado pelo Código de Obras, aprovado posteriormente ao Plano Diretor e incorporado ao processo de planejamento urbano, com previsão de análises detalhadas em etapas futuras.

Destaca-se ainda a relevância da integração entre as áreas envolvidas na formulação de políticas urbanas, com o objetivo de desenvolver instrumentos que atendam de forma abrangente às diversas demandas da sociedade. Esse conceito é

amplamente reconhecido como planejamento integrado, sendo essencial para a promoção de um desenvolvimento sustentável.

Outro ponto fundamental para a eficiência do planejamento urbano sustentável é a ampliação e modernização do cadastro técnico da infraestrutura municipal. Conforme informações disponibilizadas pelo Geo-Pelotas, atualmente, os dados técnicos acessíveis incluem apenas elementos como pavimentação, redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário. A ampliação desse cadastro é indispensável para a formulação de políticas públicas que sejam mais precisas e abrangentes, otimizando a gestão urbana.

3.3 Legislação e Seus Conflitos

Por se tratar de uma área de estudo que envolve múltiplos campos inter-relacionados, os instrumentos de regulação exigem uma abordagem multidisciplinar, capaz de estabelecer diretrizes que considerem as especificidades contextuais e promovam a necessária integração para a construção de uma hierarquia normativa coerente entre os diferentes entes federativos. Todavia, a análise das legislações associadas ao objeto desta pesquisa revela a ocorrência de interações inadequadas entre algumas disposições legais, culminando em conflitos normativos. Tais incongruências frequentemente demandam a aplicação de exceções às normas vigentes, comprometendo tanto a consistência do ordenamento jurídico quanto a eficácia das medidas regulatórias.

Apesar dos avanços observados em diversos setores, os princípios de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável ainda são percebidos, em alguns contextos, como obstáculos ao crescimento econômico, conforme aponta Jacobi, (2002). Essa problemática também se manifesta em estudos como o de Pinto (2016), que destaca o impacto direto do programa federal "Minha Casa Minha Vida" na infraestrutura local, em função das imposições decorrentes das políticas governamentais.

Adicionalmente, a busca por “brechas” nas legislações, com o intuito de infringir normas e incorrer apenas em sanções leves, em detrimento de reparar os danos ou cumprir os preceitos legais, reflete uma percepção social de impunidade. Essa dinâmica, conforme discutido por Moreira et al, (2021) leva a uma normalização da

violação legal, minando a credibilidade das regulamentações e incentivando práticas que desrespeitam o ordenamento jurídico.

As legislações voltadas às questões da problemática ambiental, são relativamente recentes, da mesma forma as legislações que envolvem o Saneamento Básico e especificamente no seu quarto eixo de desenvolvimento de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas, conforme destaca a Tabela 3 e Tabela 4 com intuito de destacar as principais contribuições legislativas sobre os temas.

Tabela 3- Principais contribuições voltadas a legislação ambiental.

Legislação Ambiental

Ano	Lei
7731	1965
9433	1997
12651	2012
Agenda 2030	2015
14119	2021

Fonte: autora (2024).

O Código Florestal brasileiro foi instituído inicialmente pela Lei nº 23.793, de 1934, e reformulado em 1965 pela Lei nº 7.731, ambas denominadas Código Florestal. Atualmente, essa legislação passou por alterações significativas com a promulgação da Lei nº 12.651, de 2012, conhecida como Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN). Embora apresente avanços normativos e atualizações alinhadas às demandas contemporâneas, a nova legislação tem suscitado controvérsias, especialmente quanto à sua eficácia na preservação ambiental e ao equilíbrio entre a proteção de recursos naturais e os interesses econômicos e sociais.

Segundo Brancalion et al. (2016), a Lei nº 12.651 é considerada um retrocesso em alguns aspectos, dada a fragilização da proteção ambiental, que pode comprometer a conservação do solo, dos mananciais e da biodiversidade, além de impactar negativamente a produção agropecuária, sem apresentar benefícios claros ao desenvolvimento sustentável. Dentre os principais pontos críticos estão: a exclusão da proteção de áreas ambientalmente sensíveis, a anistia para multas por infrações anteriores e a permissão para manutenção de atividades agropecuárias e de infraestrutura em áreas protegidas, sem exigência de recuperação integral da vegetação nativa.

Por outro lado, a evolução legislativa brasileira apresentou uma contribuição notável com a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 1997. Reconhecida como um marco na gestão hídrica nacional, essa política estabeleceu um modelo democrático e inovador, amplamente respeitado no cenário internacional. Contudo, sua efetividade depende do fortalecimento dos instrumentos de gestão, da cooperação entre entes federativos e da conscientização social para lidar com desafios como escassez hídrica, poluição e mudanças climáticas.

A Agenda 2030, embora não constitua uma legislação, representa um avanço significativo para a sustentabilidade, ao estabelecer os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Entre eles, o ODS 6 se destaca por promover a gestão sustentável da água e do saneamento para todos, alinhando-se aos objetivos desta pesquisa, especialmente no que tange à preservação e uso racional dos recursos hídricos.

Historicamente, as bases da Agenda 2030 remetem à Conferência de Estocolmo de 1972, que influenciou a formulação da política ambiental no Brasil. Posteriormente, na Eco-92, consolidou-se o conceito de desenvolvimento sustentável, resultando na Convenção sobre a Biodiversidade, na Convenção sobre o Clima e na Agenda 21, considerados marcos fundamentais para a abordagem global dos desafios ambientais.

A Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA) e a isenção tributária associada visam incentivar e recompensar práticas que promovam a conservação, recuperação e melhoria dos serviços ecossistêmicos, como regulação climática, purificação da água, conservação da biodiversidade e sequestro de carbono. Essa isenção constitui um avanço na integração entre política ambiental e econômica, alinhando estímulos financeiros à sustentabilidade. Contudo, sua eficácia requer regulamentação precisa, processos transparentes e fiscalização adequada para assegurar que os incentivos fiscais resultem em benefícios ambientais concretos.

A carência de legislações específicas para as mudanças climáticas nos centros urbanos brasileiros, sobretudo para mitigação e adaptação, é vista como um grande entrave para Lemos (2010) e Sathler, Paiva e Brant (2014).

Lei Federal 11445 /2007 e sua evolução

Conforme o art. 3º, inciso I, da Lei 11.445/2007, o saneamento básico compreende quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Essa legislação, pioneira no planejamento e desenvolvimento do saneamento básico em nível municipal, estabelece diretrizes gerais e a Política Federal de Saneamento Básico.

Um dos principais avanços da Lei 11.445/2007 é a obrigatoriedade da elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), instrumentos fundamentais para o planejamento e gestão voltados à melhoria das condições sanitárias e ambientais e, consequentemente, da qualidade de vida da população. Diferentemente dos planos diretores, obrigatórios apenas em municípios com mais de 20 mil habitantes, conforme a Lei 10.257/2001 (Estatuto da Cidade), a elaboração do PMSB é obrigatória para todos os municípios, independentemente de sua população, como destacado pela Funasa (2018).

Embora municípios com menos de 20 mil habitantes não necessitem de planos diretores para a análise de suas estruturas territoriais, a ausência dessas diretrizes pode dificultar a elaboração do PMSB. Contudo, o PMSB permanece essencial, representando um instrumento universal e indispensável ao planejamento integrado do saneamento básico.

De acordo com Funasa, (2018) esse documento deve ter como escopo mínimo:

- um resumo da Estratégia Participativa, informando sobre a composição e o funcionamento dos Comitês do PMSB, um registro fotográfico dos eventos participativos, uma análise de como a participação social trouxe contribuições para o processo de elaboração do PMSB;
- um resumo da caracterização territorial do município, destacando os aspectos sociais, ambientais, econômicos, culturais e de infraestrutura que influenciaram mais diretamente os rumos e as escolhas feitas no âmbito do PMSB;
- uma descrição analítica do diagnóstico da situação dos serviços de saneamento básico no município e de seus impactos nas condições de vida da população indicando as causas das deficiências encontradas e as pontes construídas no prognóstico para a resolução dos principais problemas existentes;
- uma apresentação sucinta, se possível por meio de tabela, dos objetivos e respectivas metas do PMSB e das alternativas escolhidas para o cenário de referência para a gestão dos serviços de saneamento básico;
- o quadro com a Programação da Execução do PMSB, que sistematiza as propostas do PMSB de programas, projetos e ações do PMSB, a sua posição no ranking decorrente da aplicação da metodologia para hierarquização das propostas do PMSB, além da estimativa de custos, as fontes de financiamento, o agente responsável por sua implementação e as parcerias potenciais.

A referida legislação trouxe alterações significativas a normas vigentes, incluindo a Lei 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Esta lei impõe ao loteador a obrigação de implantar infraestrutura básica, como sistemas de captação e drenagem de águas pluviais, redes de abastecimento de água e esgoto, pavimentação de ruas e fornecimento de energia elétrica. Entre as restrições previstas para o parcelamento do solo, conforme o parágrafo único do referido artigo, incluem-se aquelas diretamente relacionadas com o manejo de águas pluviais urbanas:

- I. em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;
- II. em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública,
sem que sejam previamente saneados;
- III. em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo
se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;

A Funasa (2018) aponta que a Lei 13.308/2016 introduziu alterações terminológicas ao substituir "manejo de águas pluviais urbanas" por "manejo de águas pluviais", ampliando sua aplicação para áreas rurais. Dessa forma, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) deve abranger todo o território municipal, incluindo zonas de vulnerabilidade socioambiental.

A legislação também promoveu avanços conceituais ao diferenciar drenagem urbana de drenagem ambiental e consolidar o conceito de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (DMAPU) como o quarto pilar do saneamento básico. Essa inclusão fortalece a abordagem integrada e sustentável, essencial para mitigar impactos decorrentes da ausência ou má execução dos serviços de saneamento. A integração dos quatro pilares – abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e DMAPU – é fundamental para a eficiência e resiliência do setor.

Em Pelotas, o Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP) incorporou o DMAPU à gestão pública em 2002, conforme o Decreto 4.417/ 2002, destacando-se na implementação do quarto eixo do saneamento básico.

No entanto, a efetividade dos PMSB enfrenta desafios. O prazo inicial para elaboração dos planos, previsto para 2010 pela Resolução 33/ 2007, foi prorrogado diversas vezes, com o Decreto n 10.203 / 2020 fixando o prazo final em 2022,

vinculado ao acesso a recursos federais. Ainda assim, dados do IBGE, (2017) indicam que apenas 28,7% dos municípios brasileiros haviam concluído seus planos.

A baixa adesão às metas e a precariedade na infraestrutura de saneamento levaram à promulgação da Lei 14.026 / 2020, novo marco legal do saneamento básico. Essa legislação ampliou a competência da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para estabelecer normas de referência, mas novamente prorrogou os prazos para os PMSB.

A legislação também exige a revisão dos PMSB a cada quatro anos, antes da elaboração do plano plurianual, conforme o art. 25 do Decreto 7.217/2010. Essa revisão deve ser integrada aos demais planos municipais, promovendo uma visão articulada do planejamento urbano e ambiental. Como forma sucinta de representar as principais contribuições a Tabela 4 apresenta as leis voltadas destacadas ao Saneamento Básico e especificamente de a Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas.

Tabela 4- Legislações voltadas ao Saneamento Básico.

Legislação Saneamento Básico		Legislação DMAPU	
Ano	Lei	Ano	Lei
2007	11445	2002	1474
2009	1197	2008	5528
2012	12305	2011	5777
2018	6114	2012	5614
2020	14026	2014	8211
2020	10203	2016	13308
		2024	PL 3772

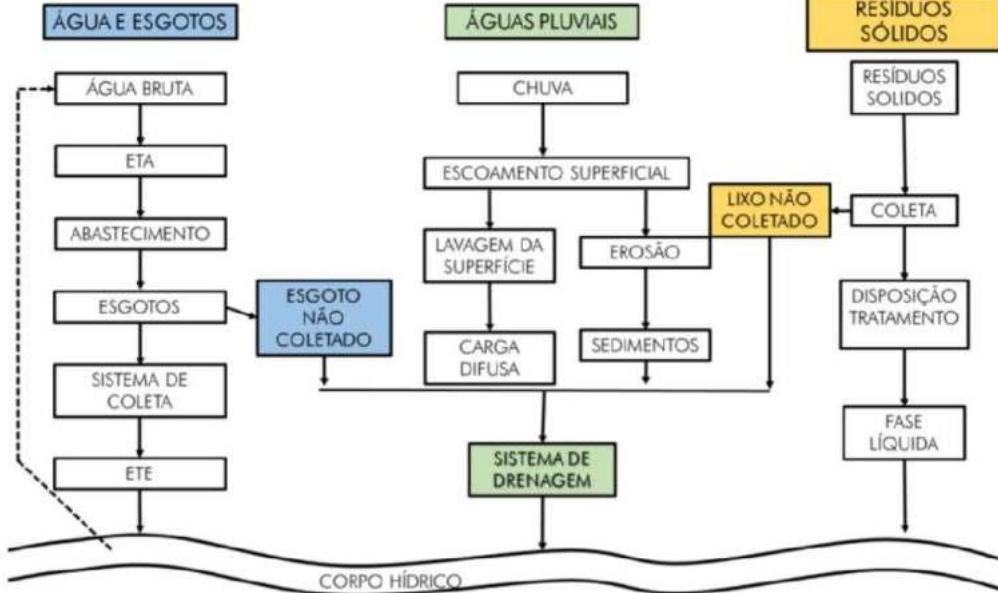
Fonte: autora (2024).

3.4 Drenagem Urbana e suas concepções

A drenagem urbana, como componente essencial do saneamento básico, caracteriza-se por sua elevada complexidade operacional e pela recorrente baixa priorização nos investimentos municipais. No entanto, quando gerida de maneira eficiente e ambientalmente sustentável, desempenha um papel crucial na manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico. Conforme destacado por Santos et al. (2020), historicamente, a drenagem urbana apresenta os menores índices de cobertura, planejamento e investimento em comparação aos demais pilares do saneamento básico.

Essa carência estrutural impacta diretamente os demais eixos do saneamento. No contexto do Sistema de Abastecimento de Água (SAA), a eficiência da drenagem urbana contribui para a preservação da qualidade dos mananciais utilizados na captação de água bruta. De forma análoga, no Sistema de Esgotamento Sanitário (SES), a recomendação normativa de dimensionamento de redes pelo regime separador absoluto é, na prática, frequentemente desconsiderada. Essa inadequação compromete o desempenho das estações de tratamento de efluentes, alterando parâmetros operacionais essenciais, como a concentração de matéria orgânica nos afluentes, e reduzindo, consequentemente, a eficiência dos processos de tratamento. As repercussões dessas deficiências são ilustradas na Figura 9.

Figura 9 - Representação gráfica do fluxo dos esgotos e dos resíduos sólidos não coletados para o sistema de drenagem.



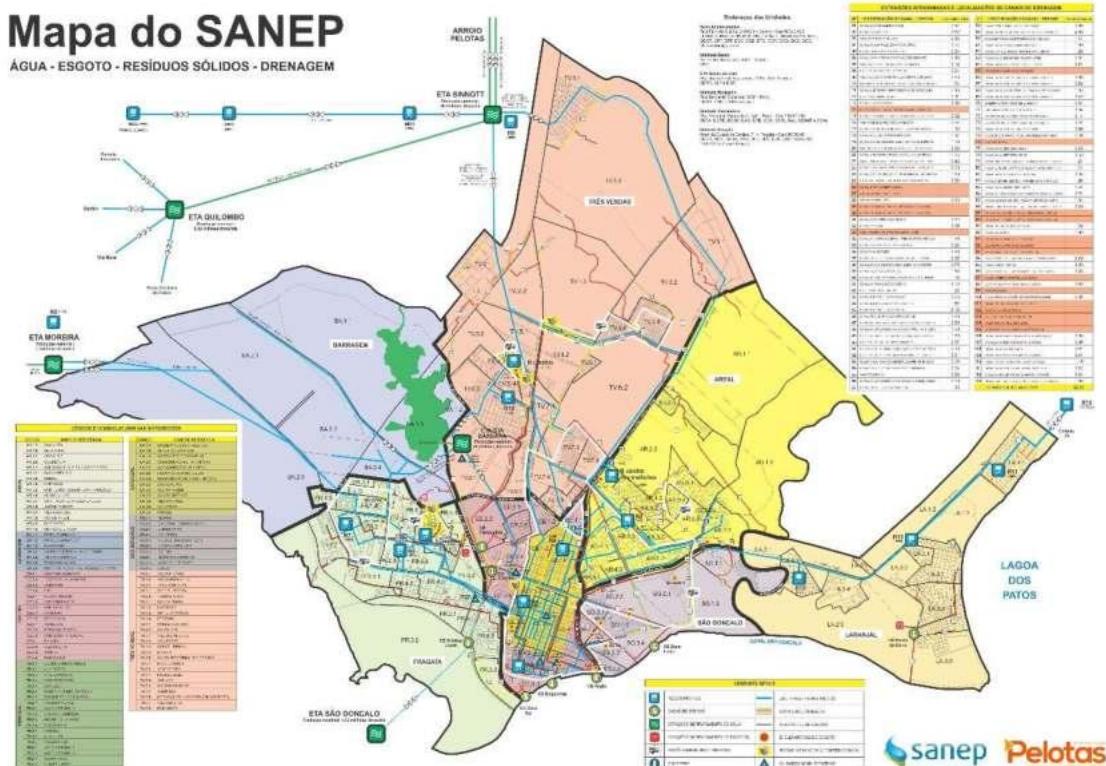
Fonte: 4º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, 2019.

A representação gráfica salienta a diversidade de impactos causados pelas deficiências dos demais eixos do saneamento, causando inúmeros prejuízos, irreversíveis como por exemplo é a vulnerabilidade que a poluição do corpo hídrico pode causar para saúde humana.

Adicionalmente, a gestão inadequada de resíduos sólidos intensifica problemas nos sistemas de micro e macrodrenagem, exigindo intervenções frequentes, como limpezas emergenciais, e aumentando significativamente os custos operacionais. A falta de priorização e valorização desse eixo tem resultado, segundo Mendes e Santos (2021), em soluções corretivas de alto custo, como obras emergenciais para mitigar problemas evitáveis.

No município de Pelotas, RS, a infraestrutura urbana voltada ao DMAPU enfrenta desafios estruturais significativos, evidenciando a necessidade de intervenções integradas e planejadas para melhorar a gestão do saneamento básico e sua interface operacional no contexto local. Na Figura 10 apresenta a infraestrutura urbana que opera a interface de Saneamento Básico do município de Pelotas RS.

Figura 10- Mapa Geral da Infraestrutura



Fonte: Sanep,2024.

Na Figura 10, observa-se que o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é constituído por seis Estações de Tratamento de Água, além do conjunto de reservatórios e das principais redes de adução. O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) é composto por três Estações de Tratamento de Esgoto, bem como por estações elevatórias e pelos principais coletores gerais. O sistema de recolha e destinação de resíduos sólidos inclui cinco ecopontos, juntamente com a unidade de transbordo. Por fim, e não menos importante o sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas é composto por redes de microdrenagem e canais (macrodrenagem), que direcionam o escoamento para as oito estações de bombeamento.

O investimento em drenagem urbana é essencial para melhorar a qualidade de vida, reduzindo a incidência de doenças de veiculação hídrica. Silva, (2007) ressalta que Pelotas, situada às margens do Canal São Gonçalo — que conecta as lagoas dos Patos e Mirim, as maiores do Brasil —, recebe aproximadamente 70% do volume de águas pluviais do Rio Grande do Sul, acarretando impactos significativos no município.

Exemplos como as inundações de 2015, causadas pela elevação do nível da Lagoa dos Patos, evidenciam os prejuízos ambientais gerados por cheias (Diário Popular, (2015). Segundo Tucci, (1997), esses eventos estão associados à ocupação desordenada do solo, à remoção da cobertura vegetal e à invasão de áreas protegidas, o que intensifica a erosão e o escoamento superficial.

Apesar da relevância, a Lei 14.026/2020 não estabelece metas específicas para drenagem urbana, limitando-se aos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e resíduos sólidos. A abordagem tradicional, centrada na rápida remoção das águas pluviais ("pegar e largar depressa"), foi substituída por soluções integradas ao contexto urbano, que consideram aspectos ambientais e sustentáveis Botelho, (1998); Souza, (2013).

Entre essas soluções, destacam-se os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS), que promovem infiltração e armazenamento das águas pluviais, e o conceito de "Cidades Sensíveis à Água" (Water Sensitive Cities), conforme Butler e Davi (2004), Baptista et al. (2005) e Vasconcelos (2020). Apesar de seus benefícios comprovados, essas práticas ainda são adotadas de forma limitada no Brasil.

Figura 11- Efeito da Implementação de Técnicas LID.



Fonte: autora, 2023

Segundo Souza, (2013) e Miguez, (2015), a gestão da demanda em drenagem urbana busca mitigar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico. As estratégias estruturais introduzem a integração entre meio ambiente, sociedade, paisagem urbana e eficiência, mesmo em cenários de crescimento urbano a longo prazo. Soluções sustentáveis incluem bacias de detenção, jardins de chuva e pavimentos permeáveis, conforme descrito por Zhou (2014) e Wang et al. (2017).

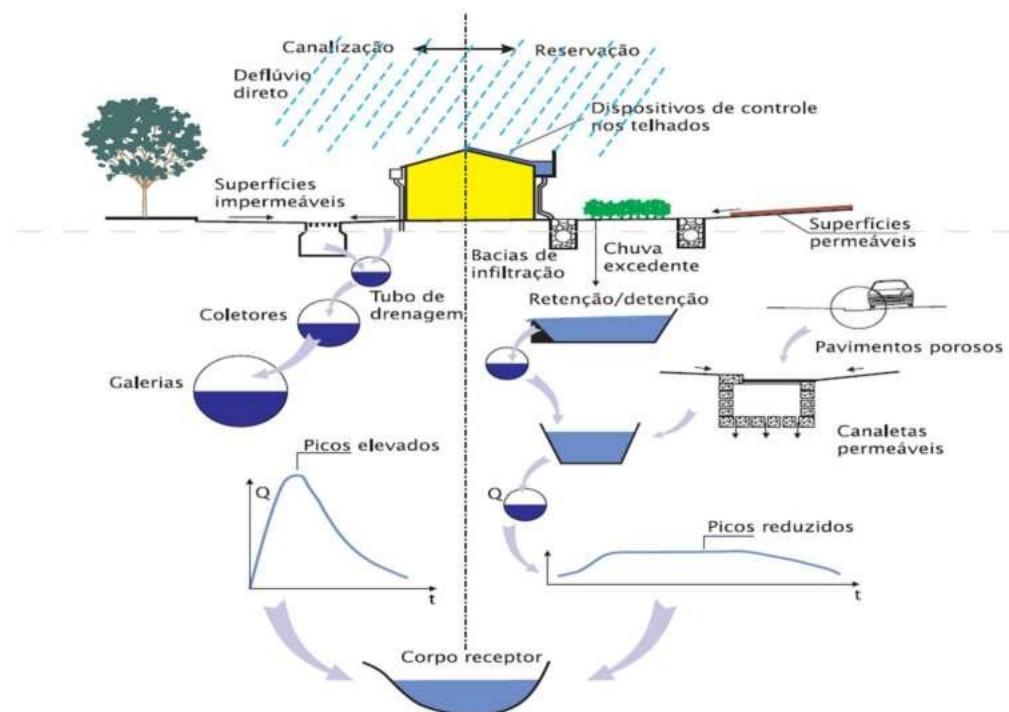
No contexto municipal, o Projeto Santa Bárbara propôs, para a bacia da Estação de Tratamento de Água da Hidráulica, a construção de um reservatório de detenção para reduzir o pico de cheias. Contudo, a falta de recursos financeiros impediu sua execução, assim como outros projetos do conjunto Souza, (2008). O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Pelotas destaca que o sistema de drenagem urbana ainda carece de dados organizados e de planejamento técnico adequado.

A infraestrutura de drenagem é composta pelos sistemas de microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem inclui dispositivos de escoamento superficial,

como sarjetas, bocas de lobo e poços de visita, que direcionam as águas pluviais para cursos d'água ou sistemas de macrodrenagem. O sistema de macrodrenagem, por sua vez, envolve canais naturais e artificiais, incluindo galerias celulares e tubulares com dimensões superiores a 1,5 metros. Os principais corpos hídricos de Pelotas incluem o Canal São Gonçalo, Arroio Pelotas, Arroio Santa Bárbara, Canal Santa Bárbara e outros.

De acordo com o PMSB, cerca de 75% do sistema de drenagem urbana de Pelotas carece de soluções tecnicamente planejadas. As 33 intervenções existentes resultam de planos isolados e seguem predominantemente a concepção higienista, que prioriza o rápido escoamento para jusante. Essa abordagem gera impactos negativos, como erosão excessiva e maior desequilíbrio no ciclo hidrológico, conforme ilustrado na Figura 12.

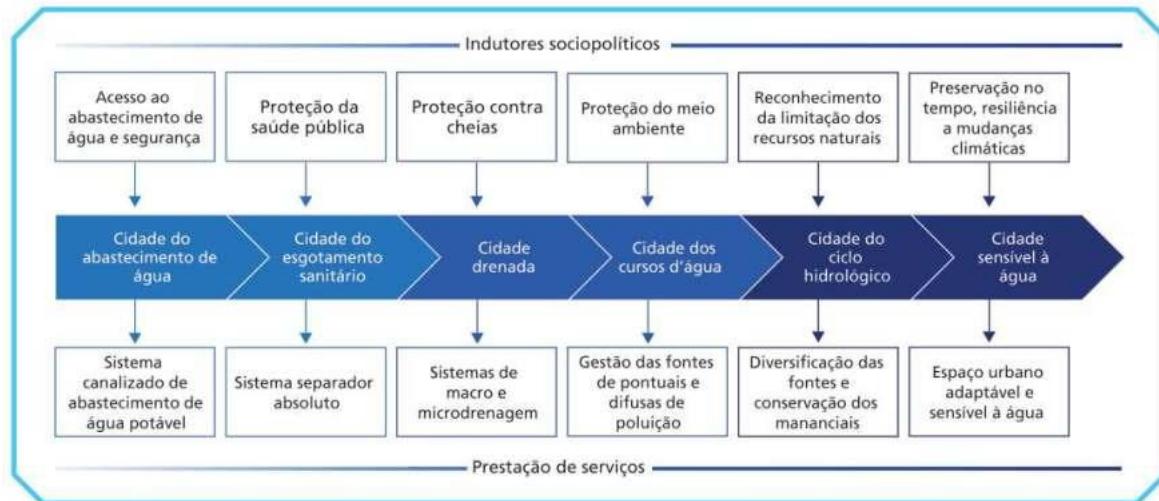
Figura 12- Ilustração esquemática dos conceitos de reservação e canalização.



Fonte: Canholi, 2005, p.36.

Diante das transformações físicas que influenciam significativamente o ciclo hidrológico, torna-se possível a identificação de diferentes períodos e concepções de projeto voltadas ao direcionamento do escoamento na drenagem e no manejo das águas pluviais urbanas, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13- Evolução da concepção voltada a DMAPU



Fonte: Brown, Keath e Wong (2009).

De acordo com Tucci, (2012), a implementação de modelos higienistas em países em desenvolvimento resultou em dois cenários distintos: (i) cidades que priorizaram a construção de redes de esgoto, mas negligenciaram a drenagem, o que contribuiu para a redução da poluição doméstica, porém com o aumento das inundações; e (ii) cidades que estabeleceram redes de drenagem sem a infraestrutura de esgoto, levando à contaminação dos recursos hídricos por poluição doméstica e industrial.

A drenagem urbana deveria evoluir de sistemas pontuais, voltados para o controle local das vazões pós-urbanização, para estratégias integradas de manejo das águas e valorização da paisagem, conforme sugerido por Miguez, Veról e Rezende, (2016). Essas infraestruturas integradas, ao invés de se limitarem às funções de transporte, retenção e proteção contra inundações, seriam sustentáveis, resilientes e multifuncionais. Tucci, (2012) observa que muitas cidades brasileiras ainda adotam o modelo higienista, enquanto algumas, como Porto Alegre, Brasília, Campo Grande e São Paulo, estão avançando em direção a soluções mais sustentáveis.

3.5 Enchente de mês de maio do presente ano

A enchente de 1941 constituiu um evento hidrológico de elevada magnitude no estado do Rio Grande do Sul, ocasionando impactos significativos em diversas regiões. Esse fenômeno foi amplificado pela ocorrência do El Niño entre os anos de 1939 e 1941, intensificando as condições climáticas e resultando em precipitações excepcionalmente elevadas, com registros superiores a 1.000 mm em determinadas localidades nos meses de abril e maio de 1941. Esse episódio histórico permanece como um marco de referência para a análise e compreensão dos eventos hidrológicos extremos que afetam a região.

No intervalo compreendido entre o final de abril e maio de 2024, o estado enfrentou novamente precipitações intensas, culminando em inundações sem precedentes, as quais foram classificadas pelo governo estadual como a "maior catástrofe climática" da história local. De acordo com o boletim da Defesa Civil, publicado em 8 de julho de 2024, um total de 478 municípios foi afetado, impactando diretamente 2.398.255 pessoas, com um saldo de 806 feridos, 31 desaparecidos e 182 óbitos. Embora a extensão territorial das áreas atingidas apresente variações, análises conduzidas pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) indicam que as precipitações ocorridas em 2024 foram substancialmente mais volumosas e concentradas em um período reduzido, em comparação às registradas em 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba. O volume pluviométrico antecedente ao pico da cheia de 2024 revelou-se comparável, ou mesmo superior, ao de 1941, sendo a maior intensidade e a distribuição concentrada fatores determinantes para que os níveis hidrométricos de 2024 suplantassem aqueles observados na enchente histórica de 1941.

A dinâmica hidrológica da Laguna dos Patos, situada na porção meridional do estado, é fortemente condicionada pelo aporte de águas provenientes do Lago Guaíba, cuja drenagem é composta aproximadamente por 85% das contribuições do Rio Jacuí, 7,5% do Rio dos Sinos, 5% do Rio Caí e 2,5% do Rio Gravataí. Adicionalmente, a Laguna dos Patos recebe contribuições das bacias hidrográficas do Rio Camaquã e do sistema Lagoa Mirim–São Gonçalo, conferindo-lhe um regime hidrológico complexo.

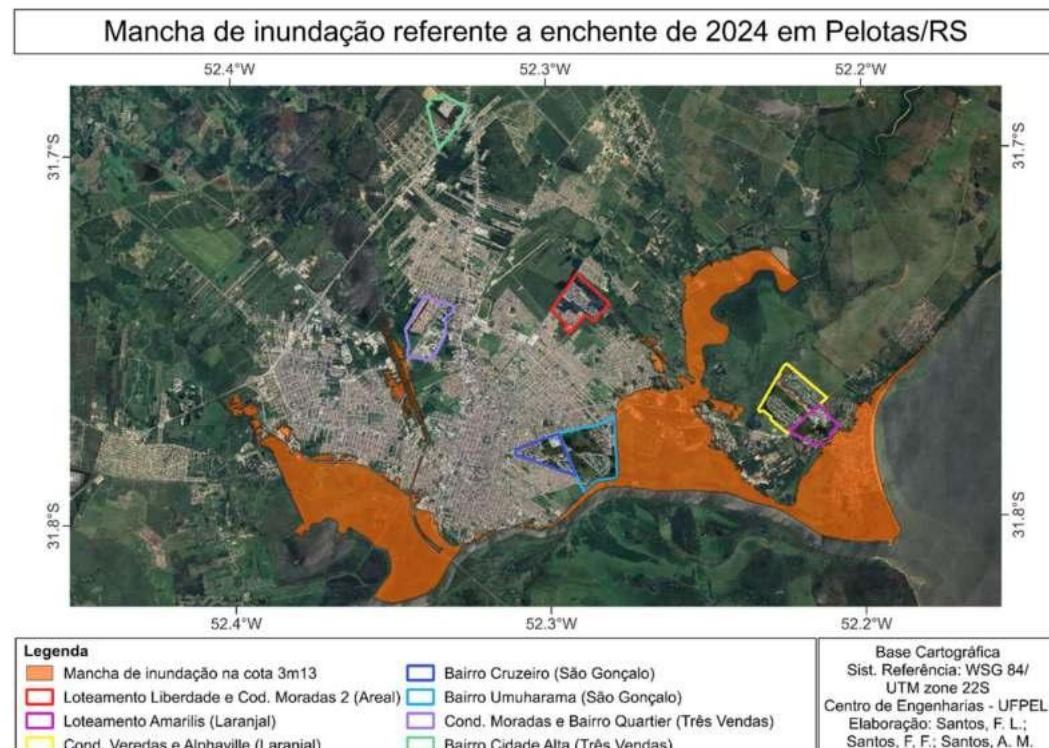
Conforme dados da Agência da Lagoa Mirim (ALM, 2024), a intensificação do regime hidrológico da Laguna dos Patos decorre da ocorrência de precipitações de elevada magnitude nas regiões centrais, serranas e dos vales do estado, provocando sobrecarga no sistema e ampliando os desafios relacionados à gestão hídrica. No início de maio, o Canal São Gonçalo apresentou oscilações expressivas de vazão, reduzindo-se de 1.450 m³/s nos dias 3 e 4 de maio para 300 m³/s em 5 de maio, seguido de um aumento para 1.500 m³/s em 9 de maio e subsequente estabilização em 550 m³/s. Essas variações estão diretamente relacionadas à elevação dos níveis da Laguna dos Patos, que impõe restrições ao escoamento.

Na Barragem do São Gonçalo, os níveis hídricos também apresentaram acréscimos expressivos, atingindo 2,84 metros na Lagoa Mirim e 2,75 metros na Laguna dos Patos entre os dias 1º e 11 de maio, período no qual a barragem operou com todas as 18 comportas abertas. Durante o intervalo de 28 de abril a 2 de maio, a vazão média do Canal São Gonçalo foi de 1.200 m³/s, com flutuações condicionadas ao aporte hídrico da Lagoa Mirim e à influência dos ventos, intensificadas por precipitações extremas registradas em Santa Vitória do Palmar (450 mm) e nas bacias hidrográficas dos rios Jaguarão, Cebollatí, Tacuari e Aiguá.

De acordo com informações da Prefeitura Municipal de Pelotas (PMP, 2024), em 12 de maio de 2024, o nível do Canal São Gonçalo atingiu a marca histórica de 2,88 metros, igualando o registro da enchente de 1941. Contudo, os níveis permaneceram elevados até 27 de maio, quando atingiram a cota de 3,13 metros, a maior já registrada. Diante da gravidade do cenário, o governo estadual promulgou o Decreto nº 57.646, em 30 de maio de 2024, reiterando o estado de calamidade pública em decorrência dos eventos climáticos extremos.

Durante esse período crítico, o município de Pelotas implementou um monitoramento sistemático da situação por meio da Sala de Situação, composta por representantes de serviços públicos essenciais, incluindo a Defesa Civil. Essa iniciativa teve como finalidade coordenar ações estratégicas de mitigação e resposta, além de elaborar um mapeamento das áreas mais vulneráveis às inundações, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14- Mancha de Inundação referente a enchente de 2024 Pelotas/RS



Fonte: autoras, 2024.

4 METODOLOGIA

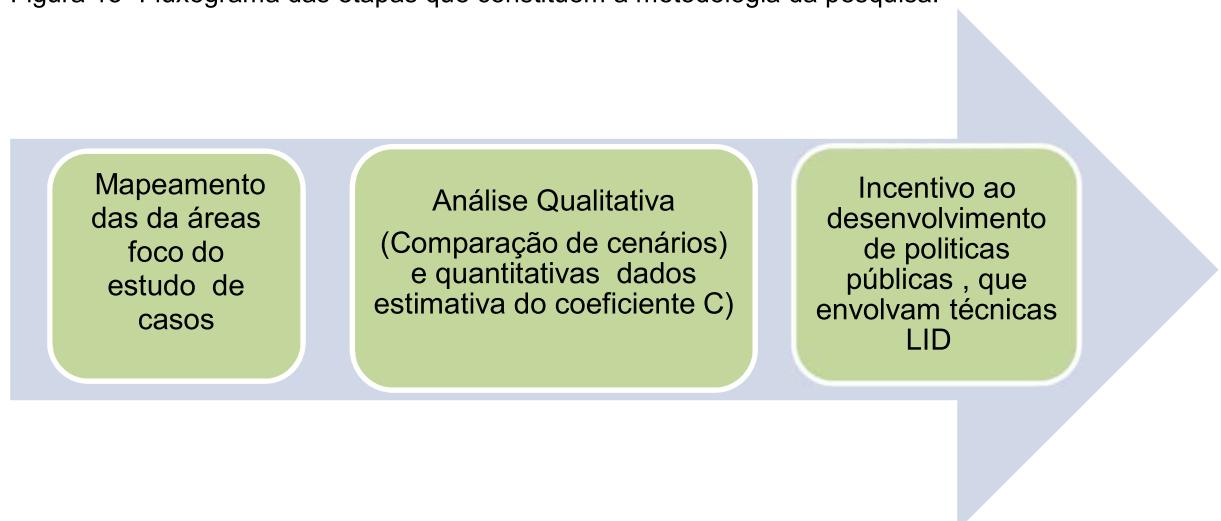
4.1. Estratégia Metodológica

A metodologia desta pesquisa foi organizada em 4 etapas principais. A primeira etapa correspondeu à fundamentação teórica, na qual se realizou a caracterização do estado da arte sobre o tema investigado. Nesse momento, procedeu-se a uma análise bibliométrica com o intuito de identificar as principais contribuições científicas relacionadas ao foco de estudo, além de compreender a evolução das informações relevantes. Para tal, utilizou-se a base de dados da plataforma Scopus, o que possibilitou a elaboração de um relatório informativo com um conjunto de documentos publicados. As informações obtidas foram apresentadas graficamente por meio de redes bibliométricas, construídas com o auxílio do software VOS Viewer, versão 1.6.19, de forma a representar as interações e relações entre os dados coletados.

A segunda etapa do estudo consistiu na delimitação das áreas analisadas dentro do perímetro urbano do município de Pelotas, RS, além da definição dos períodos mais apropriados para a análise temporal de cada estudo de caso. Essa fase teve como objetivo caracterizar qualitativamente os cenários pré e pós-ocupação de cada área, permitindo, nas etapas subsequentes, a comparação das transformações ocorridas. A comparação foi realizada com base em camadas de imagens georreferenciadas, que foram utilizadas para a elaboração dos mapas representativos das mudanças observadas.

A terceira etapa da pesquisa concentrou-se na análise quantitativa dos cenários, por meio da comparação dos dados coletados para o cálculo dos coeficientes de escoamento superficial em cada situação analisada. Essas informações fundamentaram as discussões sobre os projetos aprovados e executados nas áreas em estudo, além de permitir a avaliação dos impactos causados pelos empreendimentos identificados. O estudo também foi contextualizado com as diretrizes urbanísticas previstas na legislação municipal vigente, assegurando a adequação das análises às normas locais. Por fim, a quarta etapa focou no incentivo ao desenvolvimento de políticas públicas municipais que incorporem técnicas de Infraestrutura de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID). Para isso, foram propostas ações voltadas à sensibilização de gestores, bem a recomendação para integrar práticas sustentáveis de drenagem urbana nas legislações municipais, garantindo sua implementação de maneira efetiva e contínua.

Figura 15- Fluxograma das etapas que constituem a metodologia da pesquisa.



Fonte: autora, 2023.

4.1 Análise Bibliométrica

Para caracterizar o estado da arte no desenvolvimento de estudos relacionados ao tema central desta pesquisa, optou-se pela utilização da análise bibliométrica, visando ilustrar a relevância da abordagem proposta por meio de publicações internacionais. Com o intuito de realizar uma investigação exploratória e preencher lacunas ainda existentes na revisão da literatura, a metodologia adotada buscou aprimorar o referencial teórico, contribuindo para a construção de um conhecimento mais aprofundado no contexto da drenagem urbana sustentável.

De acordo com, Vasconcelos (2014), a pesquisa bibliométrica permite levantar evidências relacionadas ao fenômeno investigado e comparar a produção científica entre áreas afins, além de oferecer outros dados relevantes disponíveis na literatura. Essa ferramenta foi empregada com o objetivo de direcionar o foco às principais contribuições representadas pelas publicações mais significativas no contexto de estudo. Com base nesses dados, foram gerados mapas para ilustrar os resultados, assim como sua interação por meio das redes desenvolvidas no software VOSviewer, versão 1.6.19. Vale destacar que as contribuições científicas obtidas serviram de subsídio para a elaboração da revisão bibliográfica, fornecendo referências relevantes ao estudo.

4.2 Análise Bibliográfica

Diante das lacunas ou inconsistências identificadas na primeira etapa, foi conveniente ampliar a pesquisa. De posse da caracterização do problema de pesquisa foram selecionadas áreas que apresentaram significativas alterações, mediante a comparação dos cenários elaborados (pré e pós urbanização). A definição das áreas selecionadas foi estabelecida de acordo com as diretrizes contidas no III Plano Diretor de Pelotas que estabelece condicionamentos como é o caso do Mapa temático U-14 Alturas limite edificações e U-12 Vazios urbanos destacado Figura 5 Figura 6 de mediante análise da, Vazios Urbanos no Município de Pelotas. Onde foi possível identificar regiões que apesar de apresentar uma carência de infraestrutura, não houve restrições de utilização.

Dando sequência ao estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de investigar as principais contribuições científicas relacionadas ao

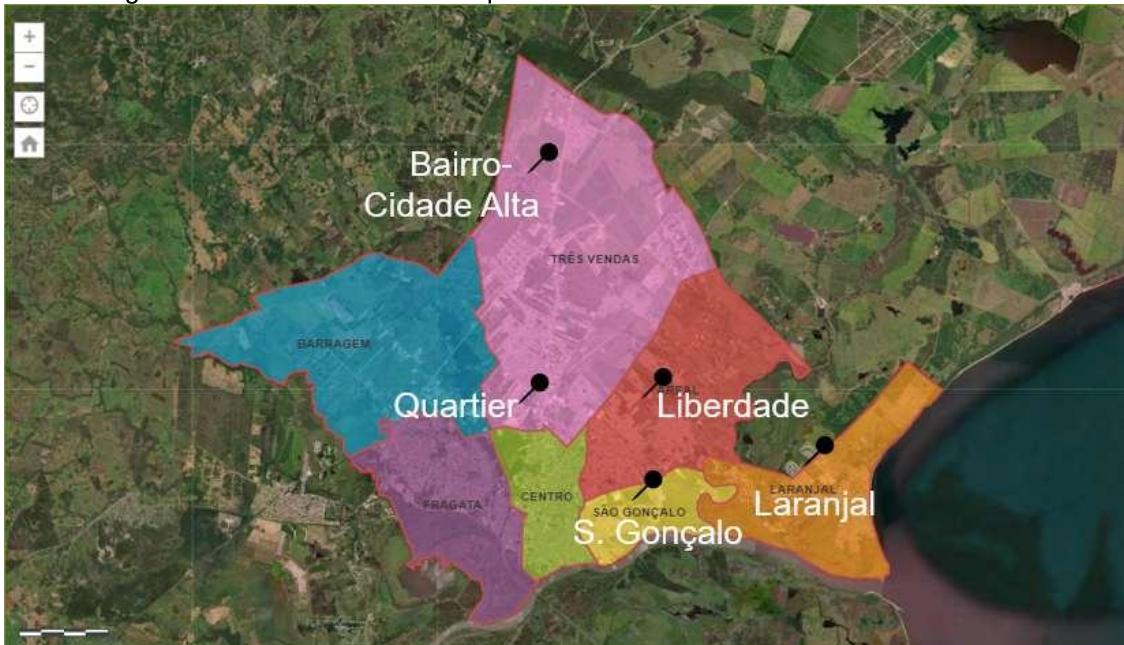
Outro aspecto relevante para o controle proporcional do crescimento urbano é estabelecido pelo critério de aproveitamento vertical, conforme disposto no III Plano Diretor de Pelotas, particularmente no Mapa Temático U-14, que delimita as alturas máximas das edificações, destacado na Figura 6. Esse mapa busca restringir a verticalização em regiões já densamente ocupadas, como a área central, onde a altura máxima é definida entre 10 e 13 metros, identificada pela cor amarelo-claro. Simultaneamente, promove-se o crescimento vertical em áreas menos densamente edificadas, com ênfase em terrenos com dois ou mais pavimentos alinhados a outros critérios, como dimensões da testada do terreno

Esse estímulo ao crescimento vertical é direcionado principalmente às vias arteriais, visando atender critérios urbanísticos específicos. Nessas áreas, o limite de altura permitido pode variar entre 20 e 25 metros, conforme indicado pelas cores marrom e telha no mapa. Essa estratégia busca equilibrar o desenvolvimento urbano, promovendo a ocupação racional e sustentável do território.

As áreas selecionadas foram: A1- Região específica São Gonçalo, A2 Região especificação do bairro Quartier, A3- Região específica Bairro Cidade Alta, A4 Região específica do Laranjal e A5 Região específica do Bairro Liberdade e Condomínio Moradas Pelotas.

Baseado na distribuição das sete regiões administrativas definidas conforme o III Plano diretor de Pelotas, é possível identificar através da Figura 16 a localização das cinco áreas que serão foco da pesquisa.

Figura 16- Regiões Administrativa do município de Pelotas RS



Fonte: Geo-Pelotas, adaptado pela autora, 2023.

Os estudos de caso investigaram áreas adjacentes aos principais eixos viários do tecido urbano de Pelotas, RS, buscando representar, por meio de uma análise temporal detalhada, o processo de transformação das características físicas dessas localidades. Esta abordagem permitiu observar a implementação de empreendimentos imobiliários, o desenvolvimento de bairros planejados e a inserção de novos elementos de infraestrutura urbana, configurando uma evolução significativa do espaço urbano ao longo do tempo.

A escolha da área A1, localizada na região de São Gonçalo, fundamenta-se em suas particularidades topográficas, caracterizadas pela baixa cota altimétrica e pela proximidade com o canal São Gonçalo. Essas características tornam a área especialmente vulnerável a inundações, risco intensificado em cenários onde a infraestrutura de drenagem não opera de forma eficiente. A análise dessa área é, portanto, essencial para entender como a expansão urbana pode agravar problemas de alagamento, especialmente em áreas suscetíveis, e para avaliar a necessidade de aprimoramentos nas infraestruturas de drenagem visando mitigar potenciais impactos da urbanização.

A escolha da área A2, correspondente ao bairro Quartier, fundamenta-se no acelerado crescimento urbano que a região tem experimentado, aliado à peculiaridade de um desnível acentuado em meio a um relevo predominantemente plano. Essa

condição geomorfológica singular representa um desafio para a infraestrutura local, especialmente no que diz respeito ao escoamento pluvial e à estabilidade das construções. O desnível pronunciado pode intensificar a formação de áreas de acúmulo de água, aumentando o risco de alagamentos e erosão, caso não haja intervenções adequadas de planejamento urbano e infraestrutura de drenagem. Assim, a análise da área A2 visa compreender como essas características físicas e o rápido crescimento urbano afetam a dinâmica local, podendo demandar aprimoramentos específicos na infraestrutura. Essa investigação contribui para identificar as necessidades de adaptação da infraestrutura, de modo a mitigar os impactos negativos e garantir a sustentabilidade da ocupação urbana na região.

A área A3, situada no Bairro Cidade Alta é caracterizada por altitudes que variam entre 20 e 30 metros, representa um avanço da expansão urbana em direção à extremidade norte de Pelotas. A escolha desta área para análise é pertinente, pois permite observar as dinâmicas de expansão em terrenos com características topográficas diferenciadas, o que pode influenciar o planejamento urbano e a infraestrutura necessária para suportar o aumento populacional. A localização mais elevada da área A3 oferece vantagens estratégicas, especialmente após a crise climática de maio de 2024 que atingiu Pelotas e todo o Rio Grande do Sul. A área em questão tem risco de inundações menores que as áreas mais baixas. Essa condição topográfica torna a A3 uma alternativa atrativa para a expansão urbana em Pelotas, favorecendo a ocupação de regiões menos vulneráveis a eventos climáticos extremos.

A área A4, situada no Laranjal, caracteriza-se como uma zona de transição entre áreas urbanas em expansão e territórios rurais, apresentando desafios específicos para o planejamento urbano e a gestão territorial. Essa configuração mista demanda uma infraestrutura que promova o crescimento sustentável e a integração harmoniosa entre as áreas urbanizadas e as regiões rurais adjacentes, especialmente considerando a proximidade com as margens da Lagoa dos Patos. A necessidade de um planejamento urbano integrado torna-se ainda mais evidente após as enchentes ocorridas em maio de 2024, quando grande parte do bairro do Laranjal permaneceu com as ruas inundadas pela água da laguna por mais de um mês. Esses eventos destacam a vulnerabilidade da região a desastres naturais e reforçam a importância de estratégias de desenvolvimento que considerem os riscos ambientais e a resiliência das infraestruturas urbanas.

A área A5, que abrange o Bairro Liberdade e o Condomínio Moradas Pelotas, representa um vazio urbano em meio a uma região amplamente urbanizada e consolidada, destacando-se pela sua relevância para o planejamento urbano local. Este espaço não desenvolvido em uma área já densa em infraestrutura urbana reforça a importância de um planejamento estratégico para sua ocupação e integração equilibrada com o entorno. A ocupação de vazios urbanos como a área A5 pode contribuir para a otimização da infraestrutura existente, reduzindo a necessidade de expansão periférica e promovendo um uso mais eficiente do solo.

A elaboração de cenários (pré-ocupação e pós-ocupação) permitiu uma comparação das alterações por meio de uma análise qualitativa. Essa abordagem possibilita uma compreensão mais aprofundada do problema, considerando o mapeamento de suas delimitações e promovendo a compreensão e o esclarecimento da hipótese formulada sobre questões ou problemas ainda pouco conhecidos ou explorados (Gil, 2018; Severino, 2018).

As imagens foram submetidas a uma análise quantitativa rigorosa, baseada nas modificações das características físicas das superfícies investigadas, identificadas por meio das variações tonais observadas. Devido à diversidade de sensores orbitais utilizados na aquisição das imagens de satélite, tornou-se necessário realizar ajustes de georreferenciamento para padronizar as coordenadas geográficas, garantindo, assim, uma base uniforme para o processo de classificação. Esses ajustes foram essenciais para assegurar a consistência e precisão dos dados, permitindo uma análise comparativa confiável entre as diferentes imagens ao longo do tempo.

O georreferenciamento foi realizado com o auxílio do software Quantum-GIS (QGIS), um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de código aberto e multiplataforma, que viabiliza a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Posteriormente, as áreas de interesse foram delimitadas com base nas informações georreferenciadas, sendo as imagens recortadas e classificadas, com o mapeamento das áreas em hectares e a quantificação das diferentes classes de elementos identificados. As imagens mais recentes foram obtidas do repositório online do serviço cartográfico global Google Earth PRO.

Essas imagens foram então comparadas com registros de coordenadas geográficas datados a partir de 2002, com uma resolução espacial constante de 2

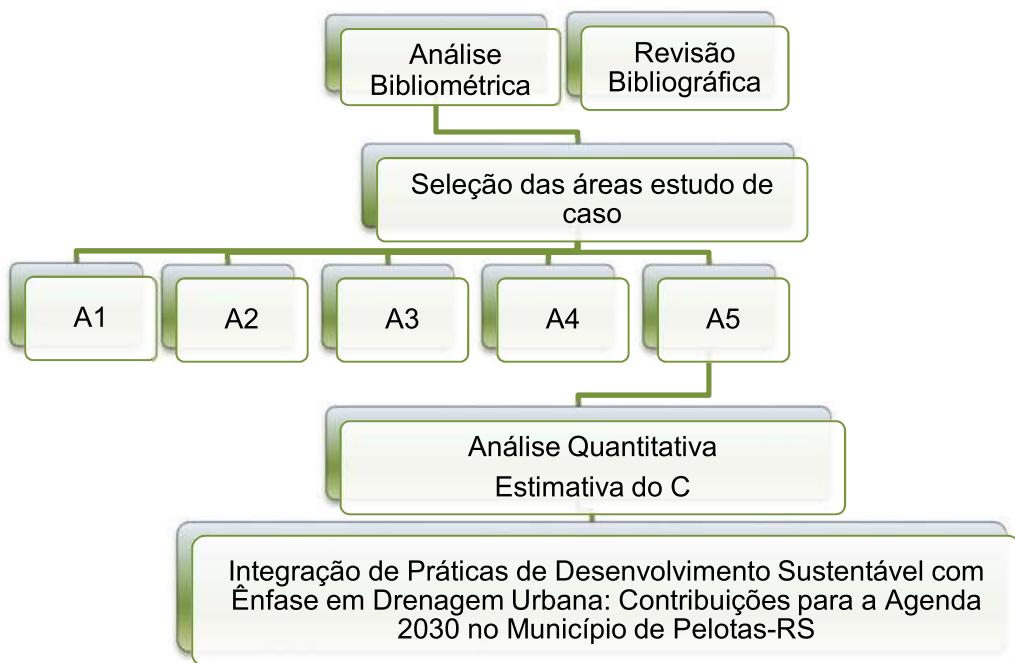
metros, assegurando detalhamento suficiente para a análise das características dos cenários estudados. O recorte temporal a partir de 2002 foi escolhido devido à indisponibilidade de imagens de média ou alta resolução para as áreas estudadas em períodos anteriores, bem como pelo aumento significativo do desenvolvimento urbano nessas regiões após essa data. Para a classificação, utilizou-se o software de código aberto MultiSpec Application. Esta etapa gerou relatórios com dados matriciais de correlação, incluindo uma matriz de confusão, a qual estimou a acurácia de cada classe individualmente, além do índice Kappa, amplamente reconhecido em sensoriamento remoto, utilizado para avaliar a precisão global da classificação das imagens.

Conforme Chowdhury e Hafsa (2022), a matriz de confusão derivada do coeficiente Kappa é essencial para apresentar a precisão do mapeamento de cobertura do solo, sendo fundamental para validar a acurácia na classificação de imagens. Os dados estatísticos foram exportados em formato .txt e posteriormente convertidos para .csv para maior compatibilidade.

As matrizes de confusão encontram-se nos anexos, detalhando a composição das classes e especificações das duas subáreas que compõem a análise. Segundo Congalton (1991), zeros frequentes numa matriz de erros podem resultar de uma amostragem insuficiente ou de uma classificação altamente precisa.

Os períodos de análise foram escolhidos estrategicamente, contemplando três estudos de caso e duas áreas de análise para os cenários de 2002 e 2022, 2022 e 2023, e 2010 e 2022, respectivamente. Para os demais estudos, referentes aos cenários de 2010 e 2022 e 2011 e 2023, adotaram-se intervalos específicos para caracterizar as mudanças analisadas. A forma que a pesquisa foi estruturada esta apresentada na Figura 17.

Figura 17- Estrutura de metodologia.



Fonte: autora, 2024.

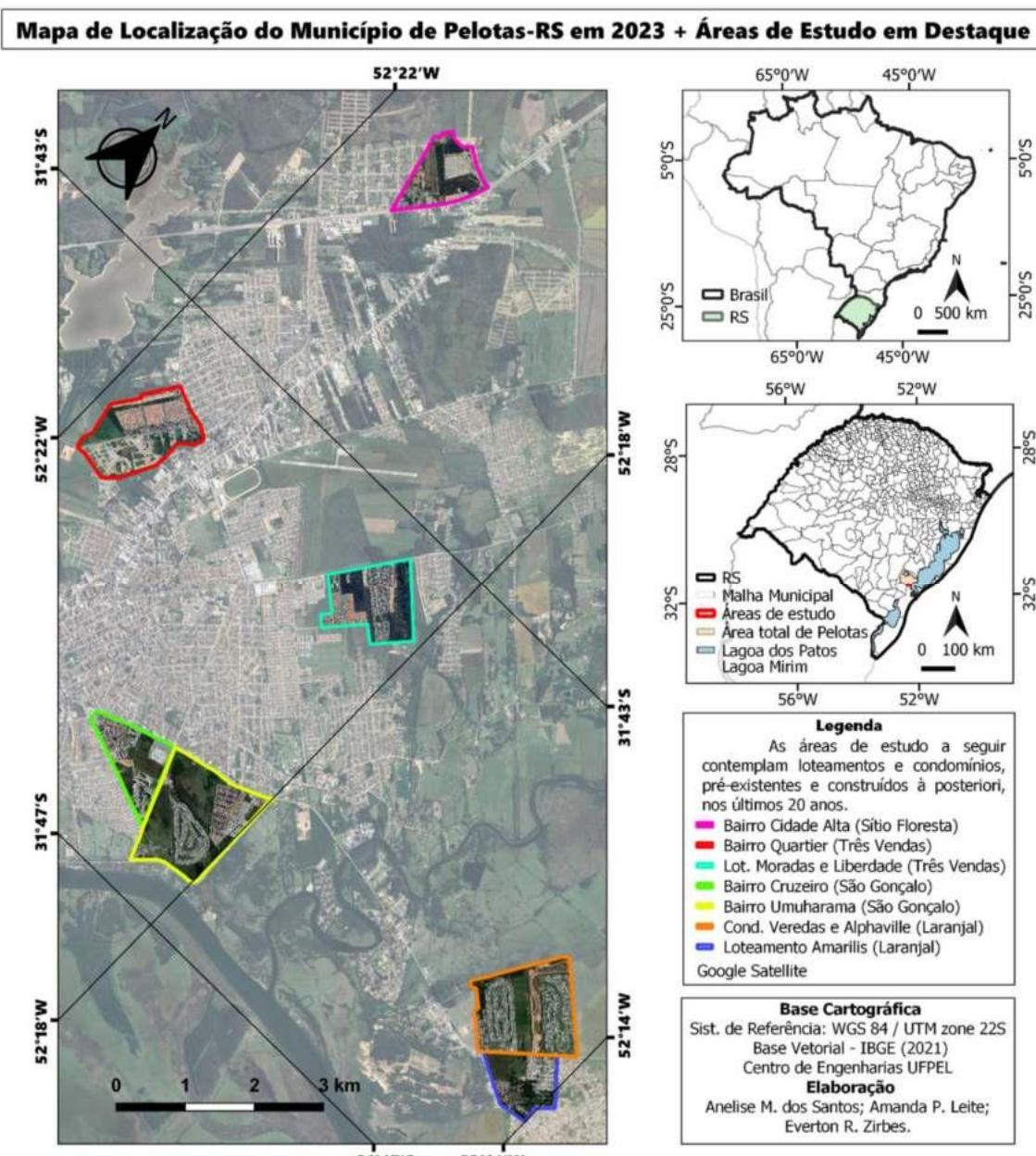
4.3 Caracterização das áreas de estudos de casos

Com base nas diretrizes urbanísticas estabelecidas no III Plano Diretor Municipal, foi possível selecionar as áreas de estudo com o objetivo de representar os principais impactos do desenvolvimento decorrentes do recente processo de urbanização, bem como suas especificidades.

A escolha das áreas para os estudos de caso fundamentou-se no princípio de refletir a dinâmica da urbanização em conformidade com a legislação urbanística vigente, estruturada a partir das diretrizes contidas tanto no Plano Municipal de Saneamento Básico quanto no Plano Diretor do município de Pelotas, RS. Dessa forma, assegura-se uma representação fidedigna do contexto urbano analisado.

Para ilustrar a localização das áreas selecionadas no contexto urbano, a Figura 18. Apresenta o Mapa de Localização das áreas foco do estudo.

Figura 18- Mapa de Localização Áreas de Estudo



. Fonte: autores, 2023

É importante destacar que, na seleção das áreas, foi estabelecido um limite máximo de 200 hectares ou 2,0 km², conforme recomendado para a aplicação do método racional, de acordo com Tucci et al. (2007). Essa etapa juntamente com a estimativa do coeficiente de escoamento superficial (C) correspondem a análise quantitativa. Dessa forma, nos casos em que a área excede esse limite, a subdivisão em subáreas foi adotada, como ocorreu nas análises A1, A3 e A4. Essa segmentação garante maior precisão na avaliação dos parâmetros hidrológicos, assegurando a consistência e a aplicabilidade dos resultados dentro dos critérios metodológicos estabelecidos.

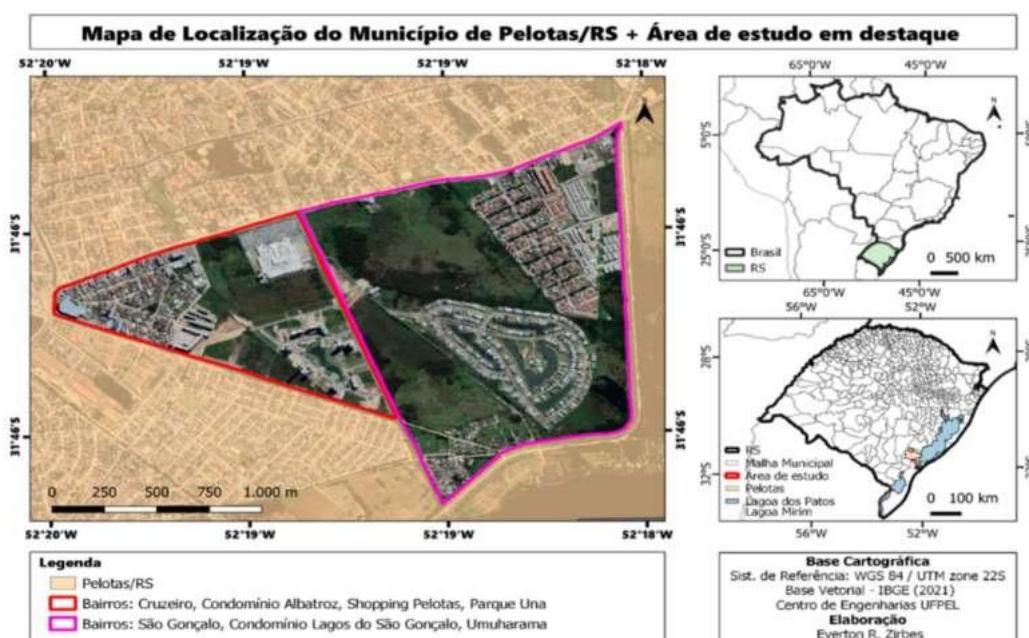
4.3.1 Estudo de Caso 1- Área São Gonçalo

A primeira área selecionada compreende parte da extensão da Avenida Ferreira Viana, a qual é classificada como uma via arterial do município, de acordo com o III Plano Diretor Participativo (PDP). Este eixo viário desempenha a função de limite territorial entre duas regiões administrativas: Areal e São Gonçalo. A região de São Gonçalo, em particular, adquiriu autonomia administrativa a partir da terceira versão do plano urbano, justificando-se essa alteração pela expressiva expansão urbana verificada no local.

Um aspecto relevante desta área é a presença, ao sul, de um dique de contenção em sistema de polders, situado junto às margens do canal São Gonçalo. Esta estrutura proporciona uma sensação de segurança contra inundações às áreas adjacentes, favorecendo, como consequência, o estímulo à exploração e valorização do mercado imobiliário.

Outro fator de transformação da região foi a inauguração do Shopping Pelotas, em outubro de 2013, evento que marcou uma descentralização das atividades comerciais antes concentradas na área central da cidade. A implementação deste empreendimento atraiu o interesse de construtoras, convertendo a região — antes pouco valorizada — em um verdadeiro canteiro de obras e promovendo seu crescimento e valorização. A seguir na Figura 19 é definido as duas subáreas que compõem a análise do estudo de caso 1.

Figura 19- Mapa de Localização da Área de Estudo 1.

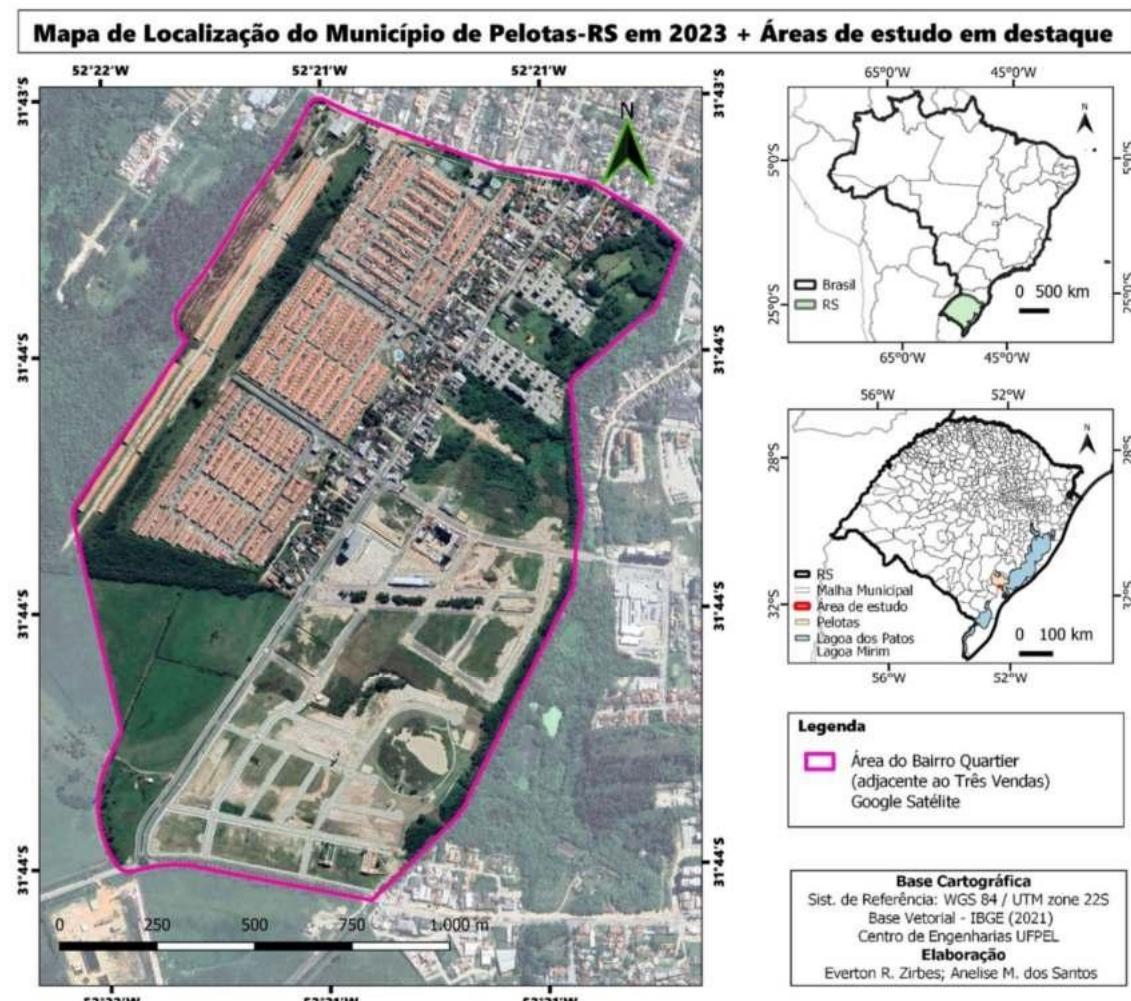


Fonte: Zirbes, 2022.

4.3.2 Estudo de Caso 2- Área específica no Bairro Quartier

Esta região apresenta uma característica diferenciadora em relação às demais áreas, destacando-se por possuir a maior variação altimétrica entre os cinco casos analisados. Essa particularidade induz comportamentos infra estruturais atípicos para uma cidade de relevo predominantemente plano, como é o caso de Pelotas. Além disso, cumpre salientar que esta área se configura como uma rota de ligação essencial entre a zona norte (Três Vendas) e a zona oeste (Fragata) da cidade, resultando em um fluxo intenso de veículos nas avenidas Francisco Carúccio e Jacob Baini. A descentralização das atividades comerciais anteriormente concentradas no centro da cidade favoreceu a redistribuição desse tipo de edificação por todas as regiões administrativas, contribuindo para um desenvolvimento urbano mais equilibrado. Na Figura 20 é delimitado a área foco da análise do estudo de caso 2.

Figura 20-Mapa de Localização da Área de Estudo 2.



Fonte: autores, 2022.

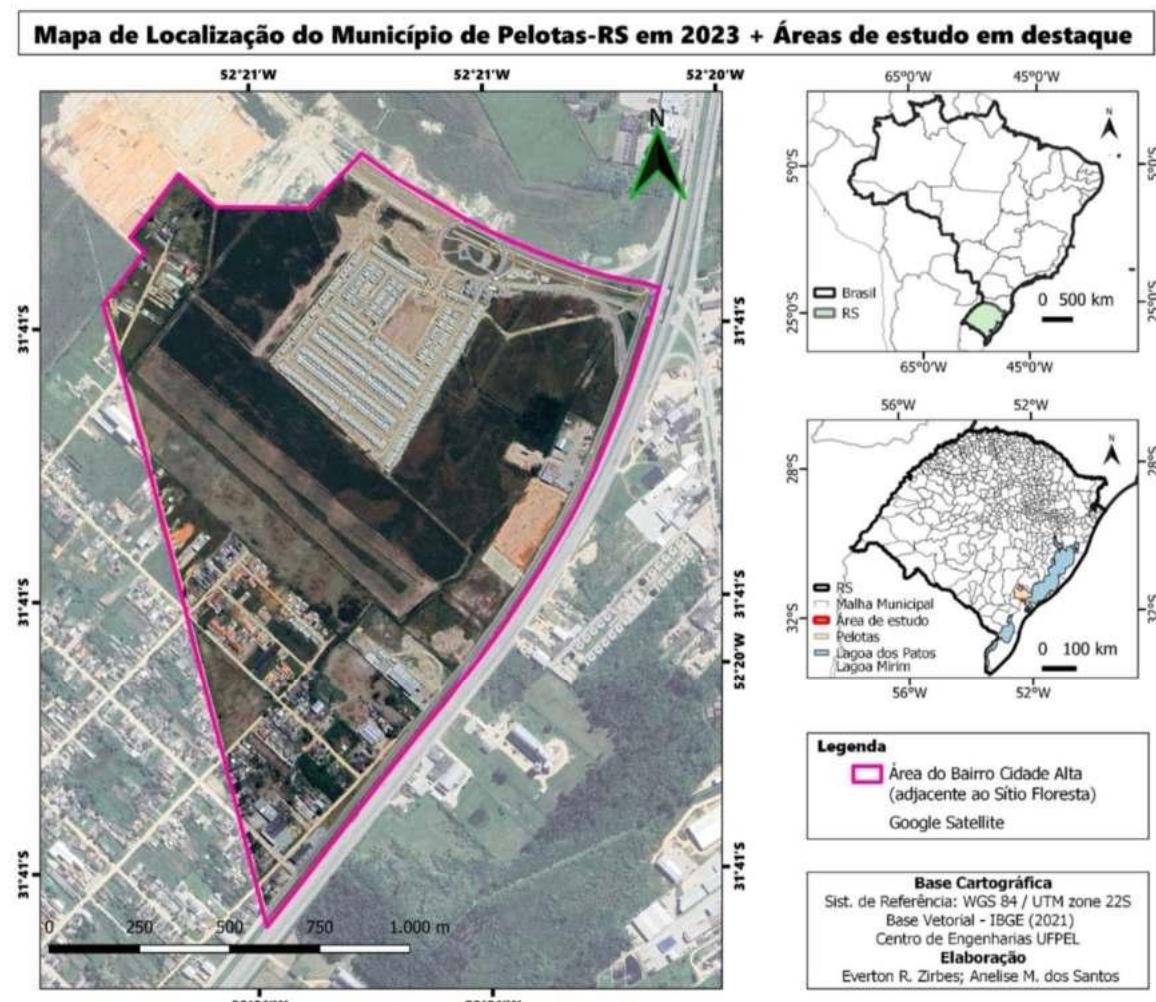
4.3.3 Estudo de Caso 3- Área específica no Bairro Cidade Alta.

A terceira área analisada visou caracterizar uma localidade adjacente ao bairro Sítio Floresta. Durante um longo período, essa região preservou suas características físicas de isolamento em uma zona de transição, atribuídas principalmente à sua localização nas proximidades do principal acesso ao município de Pelotas junto ao quilômetro 518 da rodovia federal BR-116.

Embora apresente uma ocupação restrita, essa importante rodovia serve como trajeto para o intenso fluxo de veículos que se deslocam da capital em direção ao porto de Rio Grande, considerado o maior porto do estado do Rio Grande do Sul.

A execução da primeira fase de construções destacada na análise impulsionou o desenvolvimento de novos empreendimentos na localidade, promovendo sua gradual integração ao tecido urbano. Na Figura 21 , é delimitada a área que compõem a análise do estudo de caso 3.

Figura 21- Mapa de Localização da Área de Estudo 3.



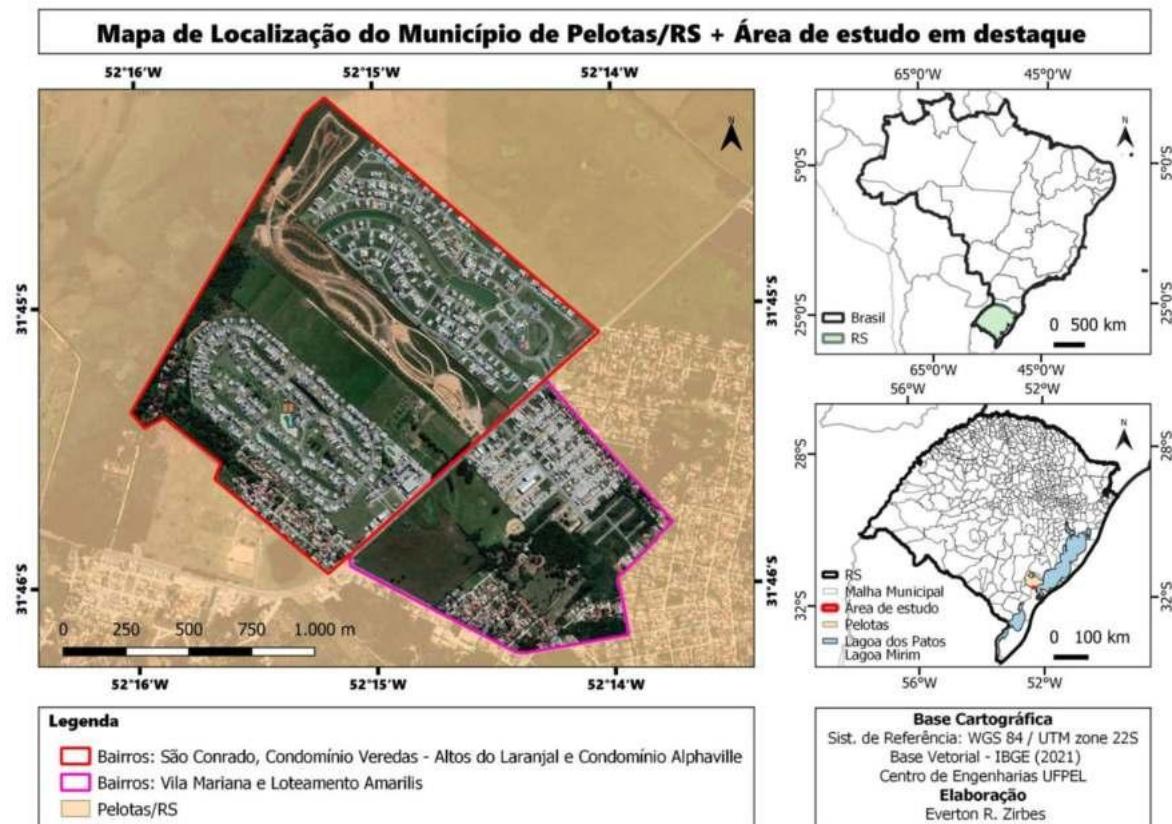
Fonte: autores 2022.

4.3.4 Estudo de Caso 4- Área Altos do Laranjal.

A quarta área foi selecionada por representar um foco de crescimento urbano, estando situada em uma região de cotas altimétricas elevadas, o que confere maior sensação de segurança à ocupação. Em função dessa característica topográfica, a área é popularmente conhecida como "Altos do Laranjal" e integra a região administrativa do Laranjal, reconhecida por sua vulnerabilidade a inundações, como demonstrado na enchente ocorrida em 2024.

De acordo com o Plano Diretor Municipal, esta área localiza-se exatamente na delimitação do perímetro urbano, com uma porção incluída na zona urbana e outra situada em área rural. Com o avanço desses empreendimentos, prevê-se, como consequência direta, a expansão do limite urbano e a dispersão da ocupação para áreas ainda carentes de infraestrutura adequada. Na Figura 22 é delimitado as duas subáreas que compõem a análise do estudo de caso 4.

Figura 22- Mapa do uso e ocupação do solo da análise 4.



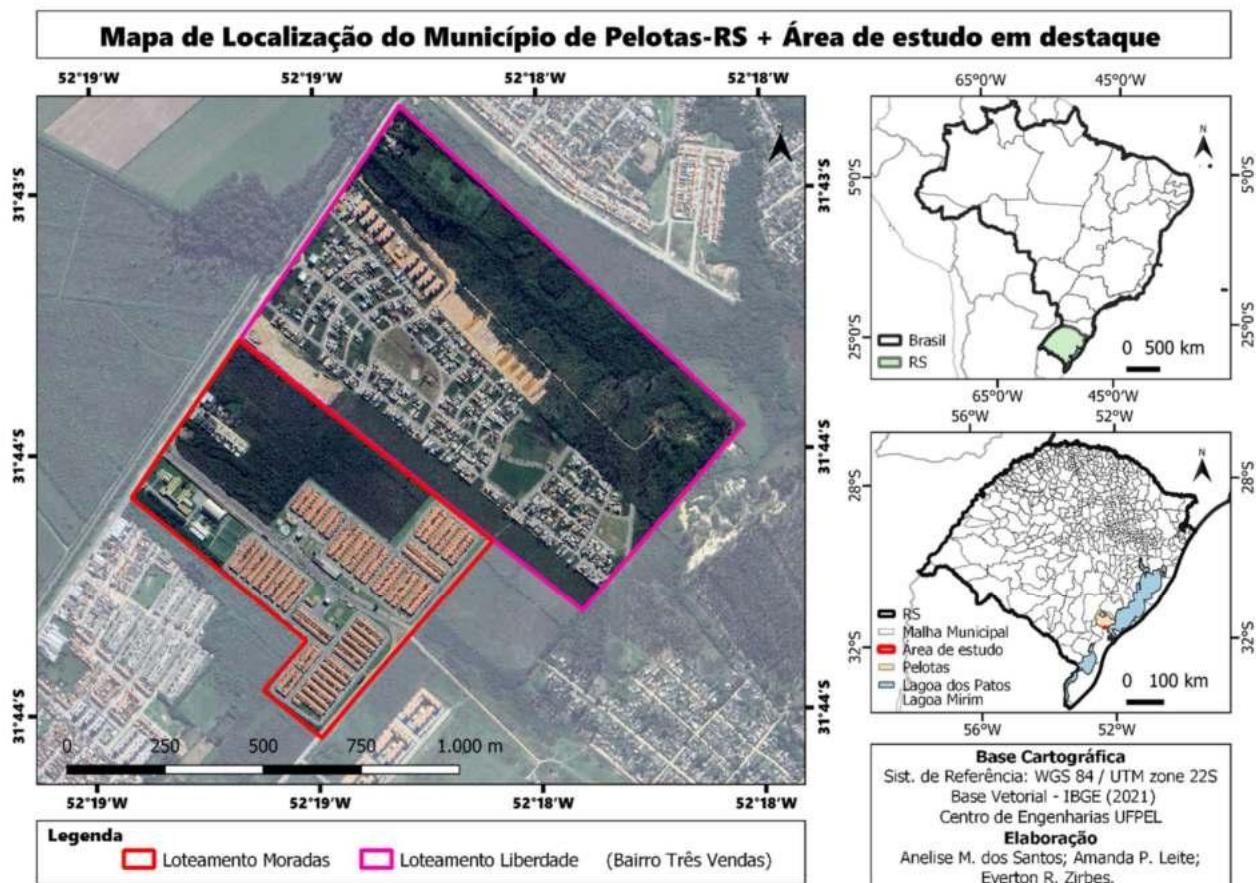
Fonte: Zirbes, (2024).

4.3.5 Estudo de Caso 5- Área específica da Avenida Ildefonso Simões Lopes.

Para concluir a análise dos estudos de caso, foi selecionada uma região que, apesar de estar situada nas proximidades do aeroporto do município de Pelotas, apresentou uma expressiva ocupação nos cenários analisados, marcada pelo estabelecimento de edificações para uso habitacional.

Essa área encontra-se localizada no limite entre a região administrativa do Areal e a região administrativa de Três Vendas, mais precisamente na avenida Engenheiro Ildefonso Simões Lopes, conforme destacado na Figura 18. A seguir é definido as duas subáreas que compõem o estudo de caso 5 na Figura 23.

Figura 23- Mapa de localização da análise em construção.



Fonte: autoras ,2023.

4.4 Dimensionamento Hidráulico

Estimativa de vazão de escoamento superficial utilizando o método racional

De acordo com Silva (2015), a equação do Método Racional possui origem empírica, remontando ao século XIX, embora sua origem seja objeto de debates. Este método é amplamente empregado para a estimativa de vazões de pico, sendo reconhecido como uma abordagem eficaz para o cálculo das vazões máximas de escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas, especialmente em cenários de precipitações de curta duração, como ocorre em microbacias urbanas. Dentre suas principais características, destaca-se a simplicidade de aplicação, demandando apenas informações sobre a cobertura do solo, a área da bacia e os índices pluviométricos, conforme expresso na Equação 1.

Equação 1

$$Q_{max} = \frac{C \cdot Im \cdot A}{360}$$

Onde:

Q máx= Vazão máxima de escoamento superficial, m³/s;

C= Coeficiente de escoamento superficial;

Im = Intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração de bacia, mm/h;

A= área da bacia de drenagem, ha.

Coeficiente de escoamento superficial (C)

Durante eventos de precipitação, apenas uma parcela do volume total precipitado é escoada superficialmente em direção às áreas a jusante. Isso ocorre porque uma fração significativa pode ser armazenada em depressões naturais ou infiltrada no solo, contribuindo para a recarga do aquífero subterrâneo. Nesse contexto, a cobertura do solo exerce influência direta sobre a vazão do escoamento superficial, tornando imprescindível a análise das características regionais para a

determinação do coeficiente de escoamento ponderado (C), conforme estabelecido na Equação 2

Equação 2

$$C = \frac{c_1 \cdot A_1 + c_2 \cdot A_1 + \dots + c_n \cdot A_n}{A}$$

Onde:

C = Coeficiente de escoamento superficial ponderado, adimensional I;

c_i = Coeficiente de escoamento superficial de cada cobertura da bacia, adimensional;;

A_i = área de cada cobertura da bacia, m²;

A= área total, m².

Cabe destacar que as áreas foram subdivididas nos estudos de casos 1 e 4.

As áreas foram subdivididas em duas regiões parciais, sendo verificado através do software QGIS o tamanho que cada região expressa na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Área total de cada região que compõem dos estudos de caso

		Área (hectare)
Estudo de caso 1	Cruzeiro	0,88
	Umuarama	2,00
Estudo de caso 2	Bairro Quartier	1,45
Estudo de caso 3	B Cidade Alta	0,86
Estudo de caso 4	Subárea Amarilis	1,40
	Subárea Alphaville Veredas	3,51
Estudo de caso 5	Moradas e Liberdade	1,20

Fonte: MultiSpec Application.

Os dados relativos ao coeficiente de escoamento superficial da subárea da microbacia estão vinculados ao tipo de uso do solo, exigindo, portanto, análise e adequação conforme indicado na tabela a seguir.

Tabela 6 - Coeficientes recomendados pela ASCE, (1969)

Superfície	Intervalo C
Pavimento	
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Calçadas	0,75 – 0,85
Telhado	0,75 – 0,95
Cobertura: Grama Solo Arenoso	
Pequena Declividade (2%)	0,05 – 0,10
Declividade média (2 a 7%)	0,10 – 0,15
Declividade Forte (7%)	0,15 – 0,20
Cobertura: Grama solo pesado	
Pequena Declividade (2%)	0,13 – 0,17
Declividade média (2 a 7%)	0,17 – 0,22
Declividade Forte (7%)	0,25 – 0,35

Fonte: ASCE, 1969

Considerando que a tabela não apresenta valores de C para solos expostos, utilizou-se como referência complementar a tabela do manual de gerenciamento de águas pluviais da Geórgia (2001), que por sua vez baseia-se na tabela desenvolvida pela ASCE em 1969. Para solos expostos arenosos e planos, com declividade inferior a 5%, o manual recomenda o valor de 0,30 para o coeficiente C.

Para a análise da ocupação do solo, foram coletadas imagens das áreas de estudo em distintos períodos: para as áreas do estudo 1, referentes aos anos de 2002 e 2022; para as áreas dos estudos 2 e 3, aos anos de 2002 e 2023; para as áreas do estudo 4, ao intervalo de 2010 a 2023; e, para as áreas do estudo de caso 5, ao período de 2011 a 2023.

Essas imagens foram obtidas por meio do Google Earth, com uma resolução espacial de 4 metros, uma vez que as imagens LANDSAT e CBERS disponíveis à época apresentavam resolução espacial superior a 30 metros.

Intensidade máxima média de precipitação (Im)

Para a definição da intensidade máxima média de precipitação, este estudo adotou a Equação 3, conforme proposta por Dornelles (2019) para o município de Pelotas/RS.

Equação 3

$$Im = \frac{1100 * Tr^{0,163}}{(t + 16,469)^{t+0,766}}$$

Onde:

Im = intensidade máxima de chuva, adimensional I;

Tr = tempo de retorno

t = tempo de duração da chuva, min.

Tempo de Concentração TC

De acordo com Silveira (2005), o tempo de concentração é amplamente reconhecido como uma das variáveis mais utilizadas nos cálculos hidrológicos relacionados ao dimensionamento do escoamento superficial. A fórmula de Kirpich, representada na Equação 4, distingue-se por sua simplicidade de aplicação, baseando-se apenas no comprimento do talvegue e na diferença de altitude entre o ponto de maior elevação e o ponto de menor cota. Em bacias urbanas, o autor recomenda a aplicação deste método para áreas de até 2.700 hectares, ressaltando sua adequação a essas condições.

Equação 4

$$TC = 57 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Tabela 7 -Dados obtidos Google Earth pro, de cada área para dimensionamento.

	Talvegue	Diferença de Cotas
Estudo de caso 1		
Subárea Cruzeiro	0,81	0,94
Subárea Umuarama	1,46	1,6
Estudo caso 2		
Bairro Quartier	1336,49	17
Estudo caso 3		
Cidade Alta	647,19	20
Estudo caso 4		
Subárea Alphaville Veredas	1360,13	13
Subárea Amarílis	906,76	13
Estudo caso 5		
Moradas e Liberdade	2073,14	8

Fonte: Google Earth pro,2024.

O tempo de retorno estima a probabilidade de um evento ser igualado ou superado, definido em anos. Segundo TUCCI (2002), em obras de microdrenagem, que possuem menor risco, é adequado utilizar o período de 2 a 5 anos, sendo recomendado considerar as capacidades econômicas, pois um tempo de retorno maior pode minimizar os riscos, mas gerar um aumento no custo de execução do projeto. Considerando isso, nesse trabalho foi utilizado o tempo de retorno de 5 anos

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como forma de elencar as principais contribuições científicas referente ao assunto em questão foi elaborado uma pesquisa prévia através dos recursos que a análise bibliométrica é capaz de produzir qualitativamente

5.1 Análise Bibliométrica

Esta etapa da pesquisa é baseada nos artigos voltados à implementação das técnicas de drenagem urbana sustentável contidos no banco de dados da plataforma Scopus. Isso se deve ao fato de a base ser considerado o maior banco de dados da literatura com revisão por pares, apresentando pesquisas com alta relevância e confiabilidade Elsevier, (2022)

Como forma de estruturação da análise, foram definidos termos com representação relevante no contexto de pesquisa, sendo representados através de um conjunto de palavras chaves. Essa seleção foi orientada através da elaboração de uma pergunta chave, a qual possibilitou o direcionamento dos termos mais adequados à abordagem desejada. Sob essa consideração, a pergunta elaborada foi: "Quais seriam os principais obstáculos ou dificuldades na evolução da drenagem urbana sustentável?"

Mediante esse recurso de caracterização foram selecionadas as palavras chaves e inserida na pesquisa através de filtro sendo possível a inserção de forma isolada ou vinculada.

Assim os termos de procura são: drenagem urbana, desenvolvimento de baixo impacto, resiliência urbana, mudança climática, gestão de águas pluviais, melhores práticas de gestões, infraestrutura verde e cidades esponja.

A pesquisa abrangeu a análise de artigos publicados no período compreendido entre janeiro de 2013 e outubro de 2023. A seleção dos artigos teve como princípio de referência as palavras-chave presentes nos títulos, nas palavras-chave e/ou nos resumos dos artigos, com o auxílio do string de busca (conforme detalhado na Tabela 8) e da aplicação de operadores booleanos (conforme descrito na Tabela 9). Os critérios (filtros) utilizados para a inclusão ou exclusão na seleção dos trabalhos e estudos estão documentados na Tabela 10. As Figura 25 e Figura 26 apresentam uma rede de interação diferente da inicial apesar de se tratar de expressões semelhante

De acordo com, Vasconcelos (2014) explica que a pesquisa bibliométrica viabiliza o levantamento de evidências relacionadas ao fenômeno investigado e a comparação da produção científica entre áreas afins, entre outros dados importantes disponíveis na literatura científica. Esta importante ferramenta foi utilizada com intuito

de direcionar o foco das principais contribuições representado pelas publicações de maior relevância do contexto de estudo.

Esta etapa da pesquisa é baseada nos artigos voltados à implementação das técnicas de drenagem urbana sustentável contidos no banco de dados da plataforma Scopus. Isso se deve ao fato de a base ser considerado o maior banco de dados da literatura com revisão por pares, apresentando pesquisas com alta relevância e confiabilidade Elsevier, (2022).

Como forma de estruturação da análise, foram definidos termos com representação relevante no contexto de pesquisa, sendo representados através de um conjunto de palavras chaves. Essa seleção foi orientada através da elaboração de uma pergunta chave, a qual possibilitou o direcionamento dos termos mais adequados à abordagem desejada. Sob essa consideração, a pergunta elaborada foi: "Quais seriam os principais obstáculos ou dificuldades na evolução da drenagem urbana sustentável?"

Mediante esse recurso de caracterização foram selecionadas as palavras chaves e inserida na pesquisa através de filtro sendo possível a inserção de forma isolada ou vinculada.

Assim os termos de procura são: drenagem urbana, desenvolvimento de baixo impacto, resiliência urbana, mudança climática, gestão de águas pluviais, melhores práticas de gestões, infraestrutura verde e cidades esponja.

A pesquisa abrangeu a análise de artigos publicados no período compreendido entre janeiro de 2013 e outubro de 2023. A seleção dos artigos teve como princípio de referência as palavras-chave presentes nos títulos, nas palavras-chave e/ou nos resumos dos artigos, com o auxílio do string de busca (conforme detalhado na Tabela 8) e da aplicação de operadores booleanos (conforme descrito na Tabela 9). Os critérios (filtros) utilizados para a inclusão ou exclusão na seleção dos trabalhos e estudos estão documentados na Tabela 8

Tabela 8- Definição de *String* de busca na base Scopus.

STRING DE BUSCA

TITLE-ABS-KEY (urban drainage) AND TITLE-ABS-KEY (Low impact development) AND
TITLE-ABS-KEY (Integrated urban management) OR TITLE-ABS-KEY (urban resilience) OR
TITLE-ABS-KEY (climate change) OR TITLE-ABS-KEY (storm water management) OR TITLE-
ABS-KEY (Nature-based solution) OR TITLE-ABS-KEY (Best management practices) OR
TITLE-ABS-KEY (green infrastructure) OR TITLE-ABS-KEY (sponge City)

Fonte: autora, 2023

Tabela 9- Apresentação dos operadores booleandos.

OPERADORES BOOLEANDOS	
And (e)	
Or (ou)	

Fonte: autora, 2023.

Tabela 10- Especificação de Critério (inclusão e exclusão) estabelecidos para a aplicação da metodologia.

Critério	Seleção
Intervalo de publicação	2013- 2023
Acesso	Livre
Tipo de Documento	Artigo, análise de conferência e capítulo de livro
Fase de Publicação	Final
Idiomas	Todos

Fonte: autora, 2023

Concluída esta etapa, foi elaborada a análise qualitativa que resultou na redução da totalidade de 157 artigos para 124 artigos, caracterizado através de um relatório no formato de extensão .xls. O mesmo forneceu os dados para elaboração dos mapas que serão apresentados a seguir. Esse conjunto de informações tem como princípio representar as interações dos dados através do software Visualizing Scientific (VOS Viewer) na versão 1.6.19. Essa ferramenta representa uma aplicação de software destinada à construção e visualização de redes bibliométricas. Sua relevância está na visualização e interpretação de dados bibliográficos, permitindo gerar redes de coautoria, mapas de citação e clusters temáticos (Li et al., 2011)

Cabe destacar que a visualização da interação das redes apresenta como conexão nós que podem representar publicação, periódicos, pesquisadores ou palavras-chave, tem sido alvo de interesse de pesquisadores da área (VANECK E WALTMAN, 2019).

Cabe destacar que o crescimento no número de publicações a partir do ano de 2017 em diante, de acordo com, Cordeiro et. al. (2020) principalmente das entidades ligadas aos países da União Europeia, é possível estabelecer um vínculo com o projeto CENTAUR (Cost Effective Neural Technique for Alleviation of Urban Flood Risk), criado em 2015 com financiamento desse bloco, que visava o desenvolvimento

de um sistema de controle de fluxo de águas residuárias autônomo, descentralizado e econômico para reduzir o risco de enchentes urbanas (CENTAUR, 2016).

A Figura 24 apresenta, em formato gráfico, a produtividade anual de documentos publicados, destacando os respectivos anos de elaboração. As barras em laranja ilustram o número de documentos publicados em cada ano, variando entre 4 e 18. Ressalta-se que o ano de 2017 registra o maior número de publicações relevantes dentro do período analisado, com um total de 17 documentos publicados, seguido pelos anos de 2016 e 2022, ambos com 14 publicações de relevância destacada.

Figura 24-Gráfico com número de publicações por ano após aplicação do string de busca na plataforma Scopus.



Fonte: adaptado, Voswiwer, 2023.

Além disso, esta etapa da análise contribuiu com uma relação que apresenta a distribuição da relevância de citações por países em virtude do acoplamento bibliográfico conforme a

Tabela 11.

Tabela 11 - Relevância das citações por países em virtude do acoplamento bibliográfico.

	País	Documentos	Citações	Força total
1	Estados Unidos	6	126	272
2	China	12	290	268
3	Reino Unido	5	133	239
4	Espanha	7	49	221
5	Canadá	4	3	182
6	Austrália	2	47	145
7	Brasil	8	43	109
8	França	2	78	77
9	Irã	2	4	74
10	Suíça	1	43	71
11	Singapura	1	0	59
12	México	1	4	39
13	Suécia	1	6	38
14	Finlândia	1	48	17
15	Coreia do Sul	2	4	14
16	Chile	1	1	8
...
24	Índia	1	6	0

Fonte: adaptado de VOSviewer (2023)

A representação do nó de interação é denominada de cluster, tendo dimensões e tonalidades variáveis conforme relevância da caracterização que serão representados nos mapas das figuras a seguir. Além disso, simula a frequência que a palavra foi identificada na pesquisa Análise de interação das palavras-chaves gerou 158 itens distribuídos em 8 classes, de acordo com sua importância, dentro da avaliação. Conforme especificação na Tabela 12.

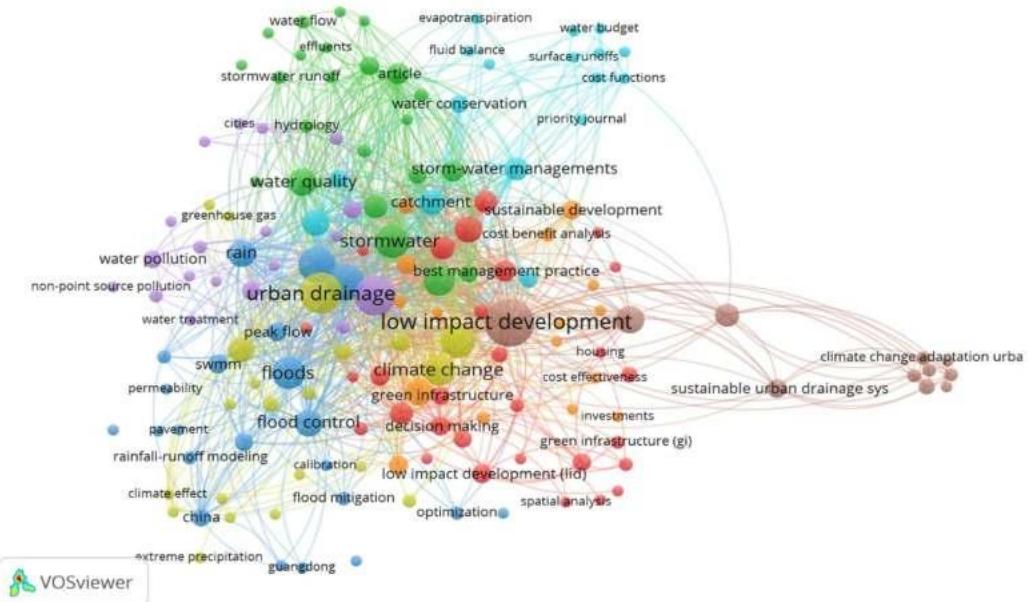
Tabela 12- Especificações Quantitativa dos Cluster da análise das palavras chaves

Especificação	Quantitativo	Tonalidade
Cluster 1	29 Itens	Vermelha
Cluster 2	23 Itens	Verde
Cluster 3	22 Itens	Azul
Cluster 4	21 Itens	Amarela
Cluster 5	19 Itens	Roxo
Cluster 6	17 Itens	Azul
Cluster 7	16 Itens	Laranja
Cluster 8	11 Itens	Marrom

Fonte: adaptado de VOSviewer (2023)

Diante das informações apresentadas na sequência será apresentado a interação entre as palavras chaves através dos mapas das Figura 25 e Figura 26.

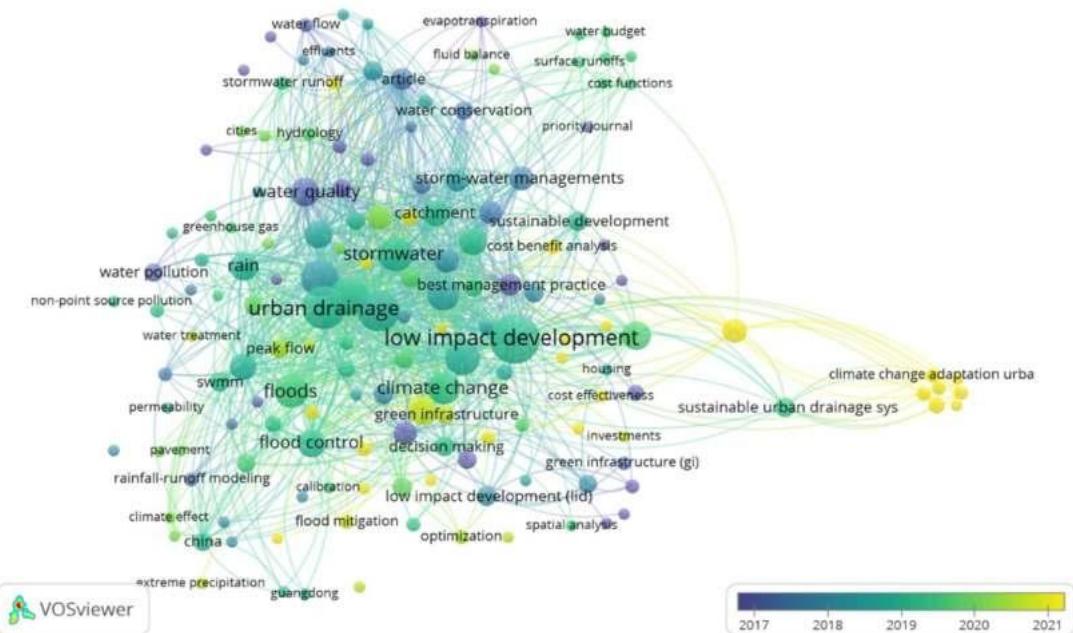
Figura 25- Mapa de Relações das palavras chaves que compõem a pesquisa.



. Fonte: Vosviewer, 2023.

Como é possível identificar que na Figura 25 a palavra-chave de maior destaque é Low impact development, sendo que dessa forma escrita se enquadrou no oitavo cluster na tonalidade marrom.

Figura 26-Mapa de Relações das palavras chaves que compõem a pesquisa mediante referência temporal.



Fonte: Vosviewer 2023

Analizando a Figura 26 é possível identificar o cluster de maior dimensão destaca pela cor verde que está caracterizado pelo ano de 2019 , conforme a escala contida no mapa .

Concluído o processamento de dados realizado na primeira etapa do Vosviewer, o mesmo forneceu uma relação vinculando a relevância de ocorrência conforme destaca a Tabela 13 .

Tabela 13- Coocorrência de palavras-chave.

	Palavra-chave	Ocorrência	Força da Ocorrência
1	Desenvolvimento Baixo impacto	35	542
2	tempestades	25	459
3	drenagem urbana	26	416
4	escoamento	21	394
...
12	chuvas	11	219
13	bacias hidrográficas	11	215
...
16	inundação	10	200
...
29	esgoto	5	124
30	Gestão de águas pluviais	9	123
...
48	lid	4	82
49	Fluxo de água	3	82
...
52	Reciclagem de águas residuais	3	77
...
55	sistema de drenagem urbana	6	74
...
95	Água potável	2	48
...
110	calibração	2	36
...
...
135	Estados Unidos	2	28
...
139	Infraestrutura urbana verde	3	27
140	permeabilidade	2	27
...
151	pavimento permeável	2	19
153	precipitação extrema	2	18
155	Vegetação urbana	2	14

Fonte: adaptado de VOSviewer (2023).

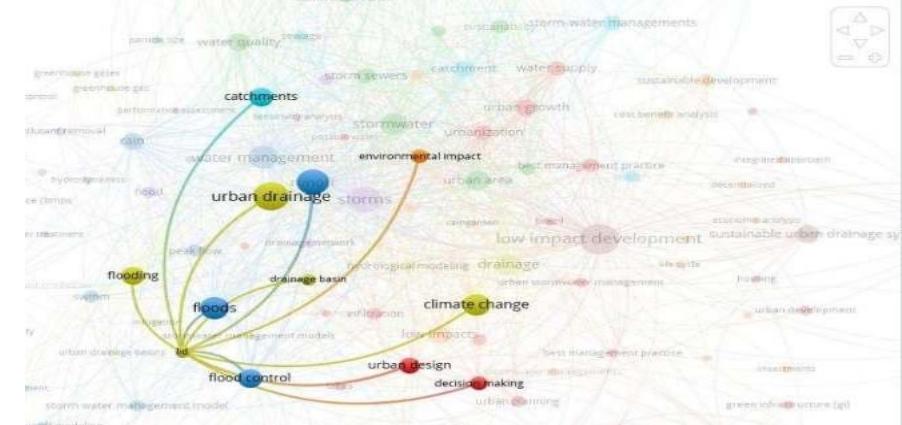
Além do destaque que a palavra-chave Low Impact Development obteve conforme destaca na Figura 25, cabe salientar que outras duas derivações dessamesma expressão resultaram e outras representatividades como destaca as dimensões dos clusters em destaque.

Outra consideração que merece o devido destaque é a ausência da especificação de algumas palavras chaves, sendo representada apenas pelo clusters.

Isso ocorre em virtude de tratar de expressões de menor significância quando comparada com o cluster mais próximo, logo uma palavra sobrepõe a outra. Essa particularidade pode ser evidenciada nas Figura 27 e Figura 28 a seguir.

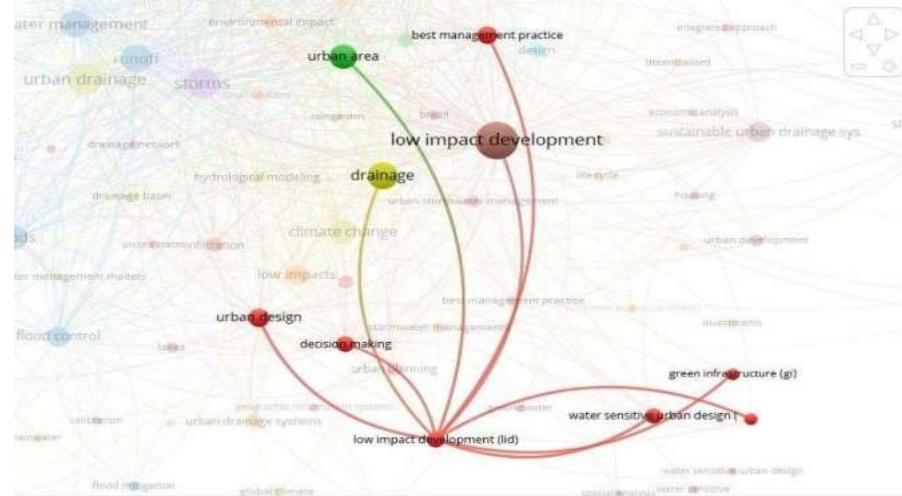
Outra constatação é a forma de interação voltada especificamente a forma de escrita da expressão low impact development (lid) e apenas a sigla lid que são apresentadas nas Figura 27 e Figura 28.

Figura 27 -Rede de Interação das palavras chaves relacionadas com a palavra LID.



. Fonte: adaptado do Vosviewer, 2023.

Figura 28 Rede de Interação das palavras chaves relacionadas com a palavra Low Impact Development.



. Fonte: adaptado do Vosviewer, 2023.

As Figura 27 e Figura 28 apresentam uma rede de interação distinta da inicial, embora envolvam expressões semelhantes. Nesta fase da análise, é possível mensurar um conjunto de contribuições científicas consolidadas até o momento, ao mesmo tempo em que se identificam lacunas presentes na área. Conforme destacado por Deng, Nursetiawan e Ikhsan, (2024), a revisão da literatura proporciona

informações cruciais, revelando conclusões-chave, como a necessidade de uma abordagem integrada que envolva intervenções baseadas na natureza e a participação de múltiplos setores e partes interessadas.

5.2 Análise Quantitativa

Nesta etapa foi elaborado através de uma análise de cenários distintos das condições de pré e pós ocupação é possível estabelecer uma comparação das áreas identificadas nas imagens. Para cada estudo de caso foi realizado uma pesquisa temporal mediante uma consulta no histórico de imagens do google Earth pro, para identificar o intervalo de tempo mais adequado para identificação das principais alterações das características físicas dessa região.

5.2.1 Estudo de Caso 1- Área específica na região São Gonçalo

Nesta área, destaca-se que o estímulo ao crescimento urbano na região está diretamente associado ao processo de verticalização ao longo das vias arteriais, como exemplificado pela Avenida Ferreira Viana. Essa via, de importância estratégica para o município, passou por um processo de duplicação concluído em 2010, o que reforçou seu papel como eixo de expansão urbana.

No primeiro cenário analisado, identificam-se áreas verdes classificadas como vazios urbanos, caracterizadas por vulnerabilidades que resultam da superficialidade da legislação vigente. Essa legislação oferece diretrizes limitadas, que se mostram insuficientes frente aos impactos ambientais e sociais em áreas de maior fragilidade, expondo a necessidade de políticas mais robustas para mitigar os efeitos adversos do crescimento urbano.

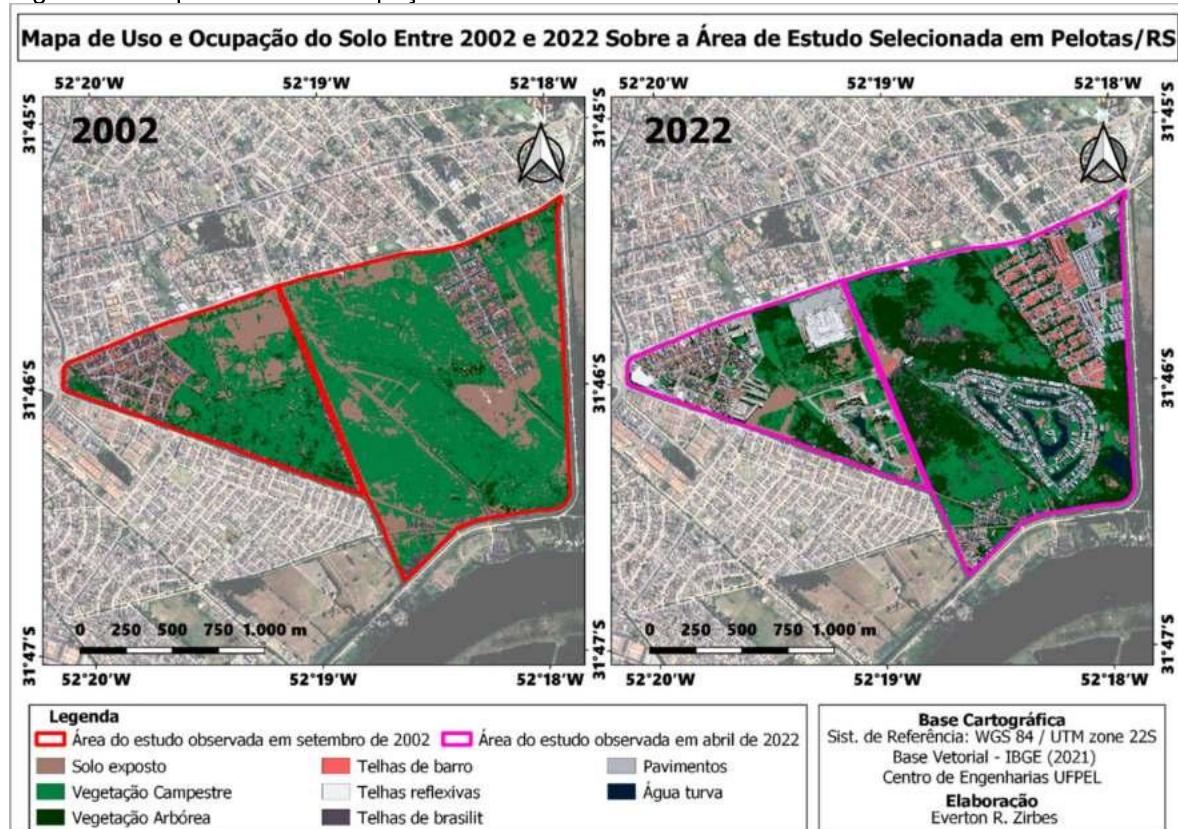
A especulação imobiliária em áreas próximas às regiões de urbanização consolidada ilustra a pressão constante por ocupação e expansão desordenada, especialmente em locais que carecem de planejamento adequado. Esse fenômeno, alimentado por interesses econômicos, eleva a demanda por terrenos e intensifica a ocupação antrópica. Adicionalmente, a proximidade ao dique de proteção da cidade,

localizado ao sul, age como um fator condicionante, uma vez que oferece uma sensação de segurança contra inundações. Contudo, embora o dique tenha a função de mitigar riscos, a região é marcada por condições desfavoráveis de drenagem pluvial, o que compromete a eficiência dessa infraestrutura e pode, paradoxalmente, acentuar problemas de alagamento e degradação ambiental, caso a expansão urbana ocorra sem as devidas precauções em termos de gestão de águas pluviais.

Conforme destaca o Manual de Drenagem Urbana do município de Pelotas (2012), a cidade enfrenta graves problemas de enchentes e alagamentos, atribuídos principalmente à sua topografia plana e à proximidade das cotas urbanas em relação ao nível do mar, que se intensificam em períodos de precipitações intensas.

Para fundamentar a análise temporal, adotou-se um intervalo de 20 anos, conforme ilustrado na Figura 29. No cenário de 2002, verifica-se que as áreas ocupadas se restringiam predominantemente ao bairro Cruzeiro e ao loteamento Umuarama, evidenciando uma ocupação espacial ainda incipiente e concentrada em setores limitados. Em contraste, o cenário de 2022 revela uma expansão urbana substancial, marcada pela consolidação de novos empreendimentos e o crescimento da malha urbana. Entre os empreendimentos de destaque nessa expansão estão o Shopping Pelotas, o Parque Una, e diversos condomínios e residenciais, como Lagos de São Gonçalo, Toskana, Residencial Serenna, Maria Clara, Estrada do Engenho, Jardim do Lago e Princesa do Sul. Esses novos desenvolvimentos refletem não apenas a ampliação da infraestrutura e da oferta de moradia, mas também a crescente valorização e urbanização da região, o que contribui para a transformação e diversificação do espaço urbano ao longo do tempo.

Figura 29- Mapa de Uso e Ocupação A1.



Fonte: Zirbes, 2023.

A partir da comparação visual dos cenários, a Tabela 14 apresenta uma análise estatística detalhada da subárea Cruzeiro, desenvolvida com o apoio do software MultiSpec Application. Essa ferramenta possibilitou a identificação e quantificação das camadas geoespaciais que compõem o contexto específico da área estudada, proporcionando uma visão aprofundada sobre a representatividade de cada camada no desenvolvimento da subárea. O uso do MultiSpec Application permitiu analisar com precisão a distribuição espacial e as alterações ocorridas ao longo do período estudado, oferecendo dados quantitativos que complementam a interpretação visual das imagens. Esses dados são essenciais para compreender o grau de ocupação, o uso do solo e as dinâmicas de transformação urbana da subárea Cruzeiro, tornando possível avaliar os impactos da expansão e da consolidação urbana observados nos cenários comparados.

Tabela 14- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 1- Subárea- Cruzeiro cenário -2002 - 2022

	Classes	Cenário ano 2002		Cenário ano 2022	
		%	Área (Hectares)	%	Área (Hectares)
1	Solo	29,03	25,43	27	18.829
2	Veg-Campestre	44,97	39,40	0,02	17,98
3	Arbórea	10,74	9,412	25	17.028
4	Pavimentos	3,98	3,484	28	18.57
5	Telha-Cerâmica	0,45	0,392	0,001	0,456
6	Telha-Fibrocimento	10,60	9,285	12	8.86
7	Telha-Reflexiva	0,24	0,208	8	5.271
8	Agua turva			0,001	0,61
TOTAL		100,00%	87,623	100%	88,00

Fonte: MultiSpec Application

A análise dos dados obtidos no estudo de caso 1, referente à subárea Cruzeiro, evidencia transformações significativas na ocupação e no uso do solo ao longo do tempo. Observou-se uma redução de 2,00% na área de solo exposto, enquanto a cobertura de vegetação campestre sofreu uma diminuição expressiva de 27,00%, indicando uma substituição gradual dessas áreas naturais por superfícies impermeáveis. Esse processo é reforçado pelo crescimento nas áreas cobertas por diferentes tipos de telhados: telhados reflexivos registraram um aumento de 7,76%, telhados cerâmicos mantiveram-se estáveis, e os telhados de fibrocimento apresentaram um incremento de 8,86%. Esses dados refletem um avanço da urbanização na região, com a consolidação de construções que, ao longo do tempo, modificaram o perfil da subárea Cruzeiro.

Além disso, a área pavimentada representa atualmente 24,02% da superfície total da subárea, contrastando fortemente com o cenário de 2002, onde a pavimentação era praticamente inexistente. A expansão dessa cobertura pavimentada exerce impacto direto sobre o ambiente urbano, pois contribui para o aumento do volume de escoamento superficial, elevando o risco de alagamentos e sobrecarregando o sistema de drenagem urbana. Essas alterações indicam uma transformação progressiva da área, implicando na necessidade de planejamento e

adaptação das infraestruturas de drenagem para mitigar possíveis impactos ambientais decorrentes da urbanização acelerada.

O processamento dos dados coletados oferece suporte para cálculos em planilhas eletrônicas, possibilitando a determinação do coeficiente de permeabilidade, representado pela letra C. Esse parâmetro é fundamental para estimar a capacidade de infiltração do solo nas áreas analisadas, o que permite avaliar os impactos causados no escoamento hídrico local. A análise indica um aumento expressivo de 32,73% na área impermeabilizada devido a obras de construção civil, abrangendo tanto vias pavimentadas quanto coberturas de telhados, que passaram de 13,37 hectares para 33,15 hectares. Esse crescimento é visível na análise de imagens de satélite, que evidenciam a construção de dois grandes empreendimentos na região durante o período estudado: o Shopping Pelotas e o Parque UNA.

Essa expansão de áreas impermeáveis contribui diretamente para a diminuição da capacidade de infiltração do solo, impactando o escoamento superficial e exigindo adaptações no sistema de drenagem local para mitigar possíveis problemas de alagamento e sobrecarga hídrica. Portanto, o cálculo do coeficiente de permeabilidade C é essencial para embasar estratégias de gerenciamento de águas pluviais, visando à sustentabilidade ambiental e ao controle dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico da região.

Dando continuidade à análise dos dados do estudo de caso 1, na subárea Umuarama, constatou-se uma redução de 19,75% na área de solo exposto e uma significativa diminuição de 37,56% na cobertura de vegetação campestre. Esses dados indicam um processo de substituição de superfícies permeáveis por áreas construídas, refletindo a intensificação da urbanização na região.

Além disso, observou-se um incremento nas áreas cobertas por telhados, com variações de 3,04% para telhados reflexivos, 2,76% para telhados cerâmicos e um aumento expressivo de 9,65% para telhados de fibrocimento. Essas mudanças são indicativas da expansão residencial e comercial, que tem modificado o perfil da subárea. A área pavimentada também apresentou um crescimento substancial, atingindo atualmente 10,89% da superfície total, em contraste com o cenário de 2002, quando apenas 1,12% da área era pavimentada. Esse aumento das superfícies impermeáveis impacta diretamente no escoamento superficial, contribuindo para o aumento do volume de água que não é absorvida pelo solo, o que pode sobrestrarregar o sistema de drenagem da região e aumentar o risco de alagamentos

Essas mudanças, detalhadas na Tabela 15, destacam a necessidade de planejamento urbano que considere estratégias de mitigação para os efeitos da impermeabilização, como a implementação de sistemas de drenagem sustentável, a fim de minimizar os impactos ambientais decorrentes do crescimento urbano acelerado.

Tabela 15- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 1- Subárea- Umuarama cenário 2002-2022.

	Classes	Cenário ano 2002		Cenário ano 2022	
		%	Área (Hectares)	%	Área (Hectares)
1	Solo	26,09	51.581	6,34	12.610
2	Veg-Campestre	64,28	127.070	26,72	53.128
3	Pavimentos	1,12	2.21	10,89	21.645
4	Telha-Cerâmica	0,0003	0.57	2,77	5.506
5	Telha-Fibrocimento	4,91	9.70	14,56	28.938
6	Telha-Reflexiva	0,0003	0,57	3,05	6.067
7	Arbórea	3,60	7.130	30,49	60.624
8	Aqua turva			5,17	10.288
TOTAL		100,00%	198.83	100,00%	198.24

Fonte: MultiSpec Application

A estatística Kappa média para todas as amostras apresentadas na Tabela 10, com valor de 97,8%, reflete uma concordância substancial entre as classificações observadas e as esperadas, demonstrando um elevado grau de confiabilidade no processo de classificação empregado. A variância de Kappa, que oscilou entre 0,000002 e 0,000065, sugere uma consistência excepcionalmente alta entre as classificações, destacando a estabilidade e precisão da metodologia aplicada para esta categoria específica de imagens orbitais. Esses resultados reforçam tanto a confiabilidade quanto a acurácia do método de classificação adotado, assegurando que as imagens analisadas foram categorizadas de maneira precisa e estável.

Esses dados evidenciam a adequação do método utilizado, particularmente relevante para estudos que requerem alta precisão, como análises ambientais e de ocupação do solo. Por fim, cabe salientar que a matriz de confusão correspondente a esta análise está disponível nos anexos A, B, C e D, permitindo uma verificação

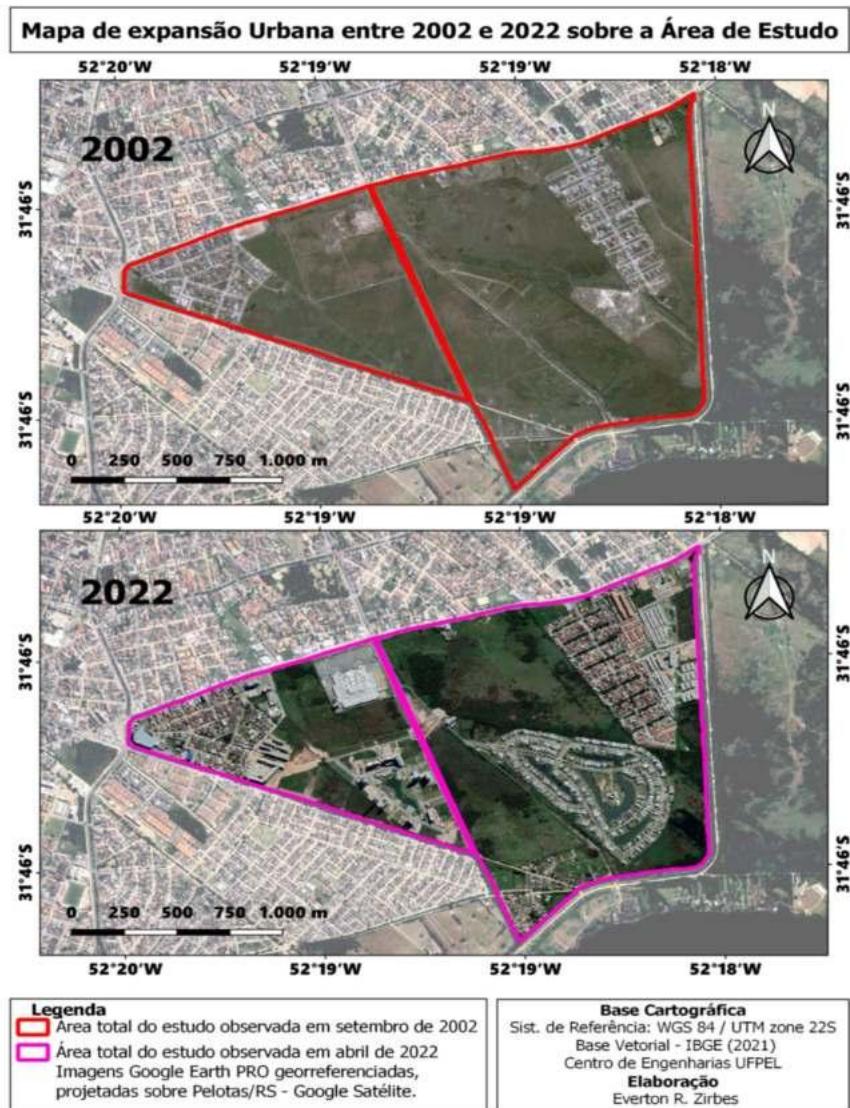
detalhada das classificações e contribuindo para a transparência e a validação do processo classificatório empregado, conforme destaca a Tabela 16.

Tabela 16- Tabela 8- Descrição do índice Kappa

Over class performance	Estatística Kappa	Kappa variável
C. 2002	99,68%	99,5%
	95,0%	94,7%
C. 2022	99,0%	99,0%
	96,13%	95,6%

Fonte: MultiSpec Application

Figura 30- Mapa de Expansão Urbana análise 1.

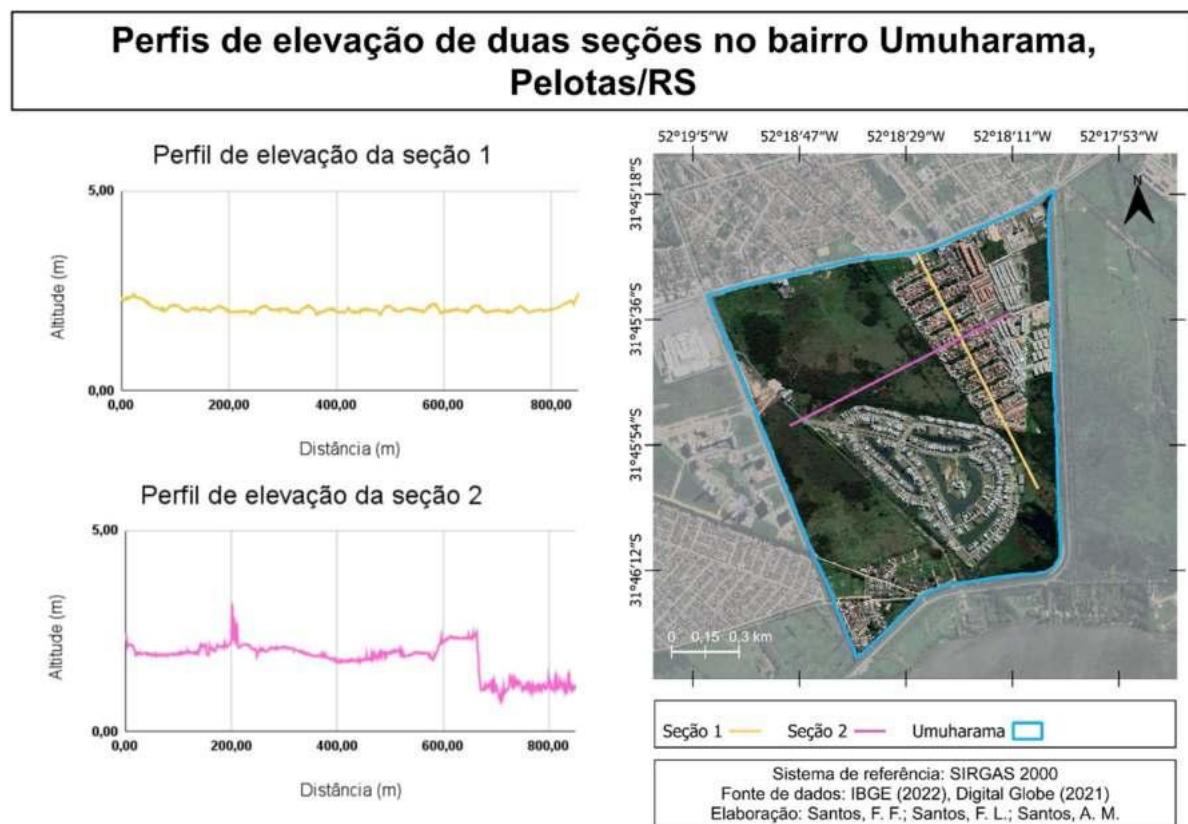


Fonte: Zirbes, 2022.

Com o propósito de caracterizar a topografia da área em análise, foi elaborado um perfil de elevação detalhado. O traçado resultante evidencia uma variação altimétrica entre 1,0 e 4,0 metros (Subárea Umuarama) como destaca a Figura 31 e entre 1,0 metro e 7,0 metros (Subárea Cruzeiro) como destaca a Figura 32.

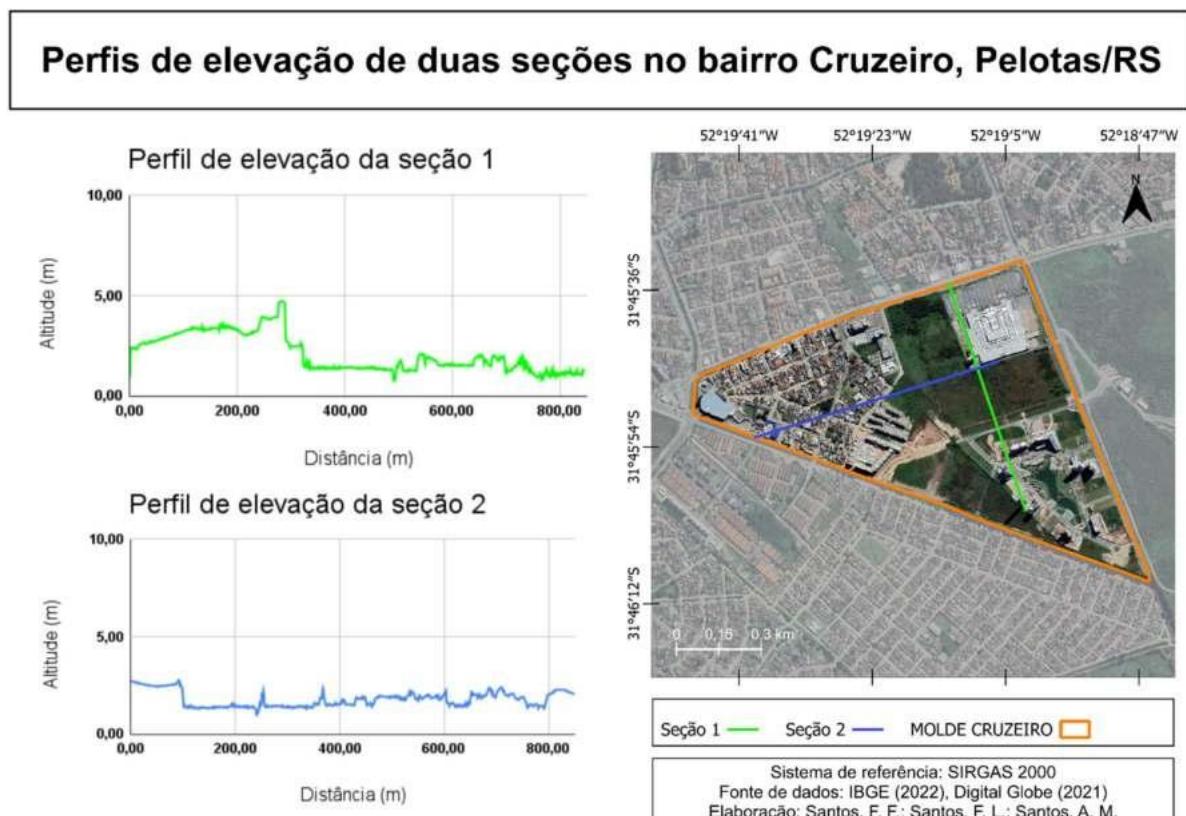
Embora essa variação seja sutil e possivelmente imperceptível a olho nu, a oscilação, ainda que mínima, sublinha a relevância deste atributo topográfico, especialmente no que se refere aos desafios de escoamento das vazões resultantes das precipitações. Ademais, esta área é classificada como uma região de polders, pois está circunscrita por diques projetados para proteção contra inundações. Conforme mencionado no item 3.4, relativo à enchente de maio do corrente ano, essa região foi alvo de monitoramento intensivo devido à sua vulnerabilidade, caso o sistema de proteção viesse a ser superado pela elevação do nível do canal São Gonçalo.

Figura 31- Perfil de Elevação A1 Subárea Umuarama



Fonte: autoras (2024).

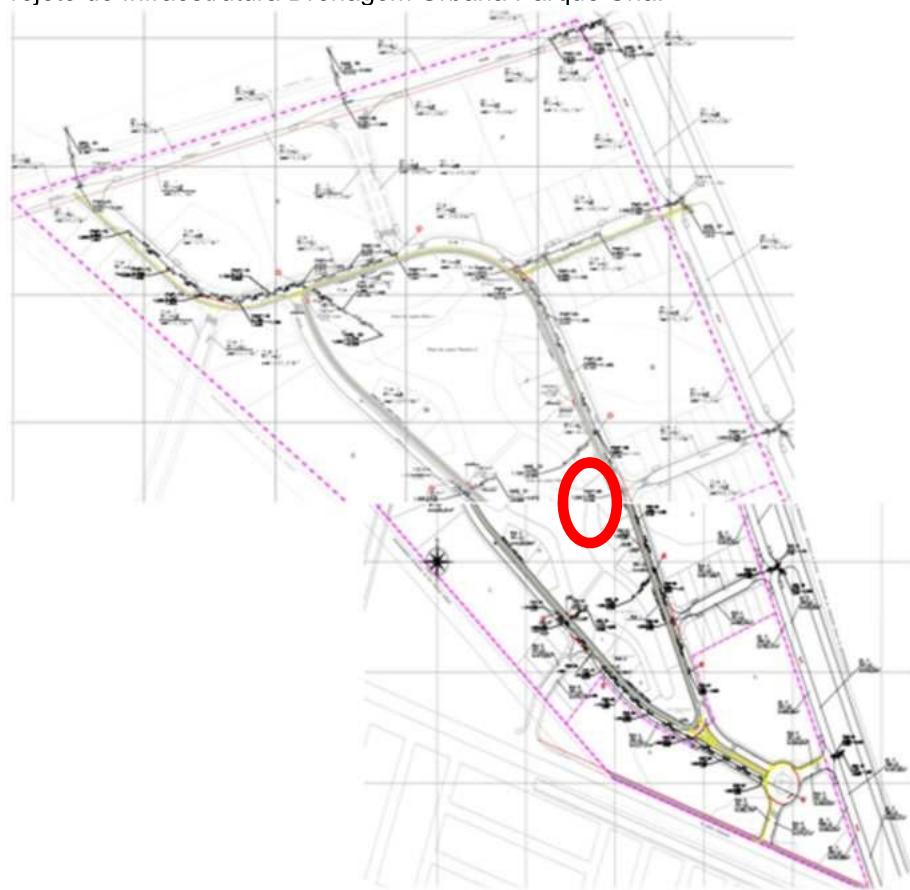
Figura 32- Perfil de Elevação A1 Subárea Cruzeiro



Fonte: Autoras 2024.

Por meio de um sistema de bombeamento situado na área denominada "reserva técnica", o excedente de vazão do escoamento é direcionado de forma intermitente para o canal da Avenida São Francisco de Paula. Esse desvio ocorre quando são atingidos os níveis pré-estabelecidos para acionamento automático do bombeamento, conforme ilustrado nas Figura 33 e Figura 34.

Figura 33- Projeto de Infraestrutura Drenagem Urbana Parque Una.



Fonte: Sanep, 2023.

A autarquia, com base na viabilidade técnica nº 42/2026, definiu como diretriz para a drenagem urbana do empreendimento a implementação de um sistema de amortecimento hídrico. Esse sistema inclui a construção de um lago projetado para controle de enchentes, complementado pela instalação de bombas de drenagem para assegurar maior segurança hídrica. Além disso, serão incorporadas áreas destinadas à infiltração e retenção de águas pluviais, com o objetivo de otimizar a absorção e o armazenamento, promovendo um manejo sustentável e eficiente das águas urbanas.

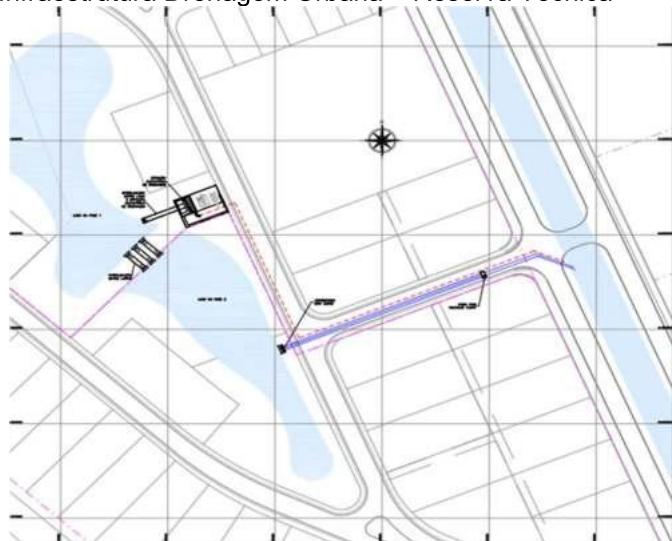
O projeto de infraestrutura detalha a interface da drenagem urbana, destacando o lago artificial que receberá o escoamento superficial da área adjacente. Esse lago, além de contribuir para a paisagem, desempenhará um papel crucial na regulação hidrológica do sistema, funcionando como uma medida de amortecimento da vazão. Essa abordagem está fundamentada no conceito de "controle na fonte", que busca minimizar os impactos do escoamento desde sua origem, em conformidade com os princípios das Medidas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID). Segundo Fletcher et al. (2015), o termo LID surgiu nos anos 1970

em um documento de Barlow, relacionado ao planejamento urbano em Vermont, EUA. Estratégias de LID ajustadas às condições climáticas locais e padrões específicos de precipitação têm demonstrado eficácia na mitigação de inundações, conforme relatado por Sohn, (2019).

A Figura 33 apresenta a área denominada "reserva técnica", destacada em vermelho, onde se localiza o conjunto de moto bombas. Esses equipamentos são responsáveis por regular o nível do lago artificial e redirecionar a vazão de maneira controlada para o canal da Avenida São Francisco de Paula. A mesma figura fornece uma visão detalhada das instalações da reserva técnica, evidenciando os componentes principais do sistema de drenagem.

Na Figura 34, destaca com maior detalhe das instalações da reserva técnica.

Figura 34- Projeto de Infraestrutura Drenagem Urbana – Reserva Técnica



Fonte: Sanep, 2023.

Figura 35- Registros efetuados durante inspeção técnica (fiscalização de execução das redes de drenagem pluvial).



Fonte: autora, 2023.

Na Figura 35, observa-se a execução de uma das conexões entre o parque e o bairro Cruzeiro, implementada recentemente. É relevante destacar que essa intervenção, especialmente no que se refere à interface com a infraestrutura de saneamento básico, foi realizada a partir de uma solicitação da autarquia como condicionante para a entrega das obras. A execução incluiu a implementação de um segmento da rede de drenagem, com o objetivo de garantir a capacidade de escoamento adequada para o volume de águas pluviais gerado pela construção dos empreendimentos na área. Esta intervenção foi concluída em 2023, e verificou-se que seu desempenho foi satisfatório durante o evento climático significativo ocorrido em maio de 2024 no município.

Além dos empreendimentos previamente mencionados, houve a incorporação do condomínio Lagos de São Gonçalo, do Loteamento Umuarama e de outros condomínios de menor porte situados nas proximidades. Destaca-se a infraestrutura de drenagem urbana, que adota o conceito de dispositivos de controle na fonte, implementando o controle da vazão de escoamento por meio de lagos distribuídos no interior do empreendimento, destinados a regular e reter o volume de águas pluviais na origem.

O loteamento Umuarama, embora esteja localizado em uma área contemplada pela segurança oferecida pelo dique de proteção, apresenta atualmente uma elevada taxa de ocupação. Em função da vulnerabilidade a que foi exposto durante a enchente,

bem como do início recente de um novo empreendimento na região, ocorreram protestos e reivindicações por parte da população, que manifesta preocupação com a possibilidade de precipitações semelhantes às ocorridas em maio deste ano, conforme reportado pela RBS TV (2024).

Ainda assim, esse empreendimento encontra-se em situação regular, uma vez que possui aprovação de projeto junto ao órgão público competente. Essa situação evidencia a fragilidade da legislação vigente diante dos desafios impostos pelo planejamento urbano, ressaltando a necessidade urgente de revisão das normas urbanísticas, com vistas a integrar todas as interfaces que compõem a infraestrutura urbana.

5.2.2 Estudo de Caso 2- Área específica no Bairro Quartier

Apresentação sucinta da descrição da área, contextualizando com a forma de crescimento urbano ocorrido neste local. Esta área da mesma forma que os demais estudos de casos analisados sofreu um intenso crescimento urbana, principalmente em virtude da expansão imobiliária com o estabelecimento do bairro Quartier onde atualmente possui empreendimento de uso misto, ou seja, uso o comercial e habitacional.

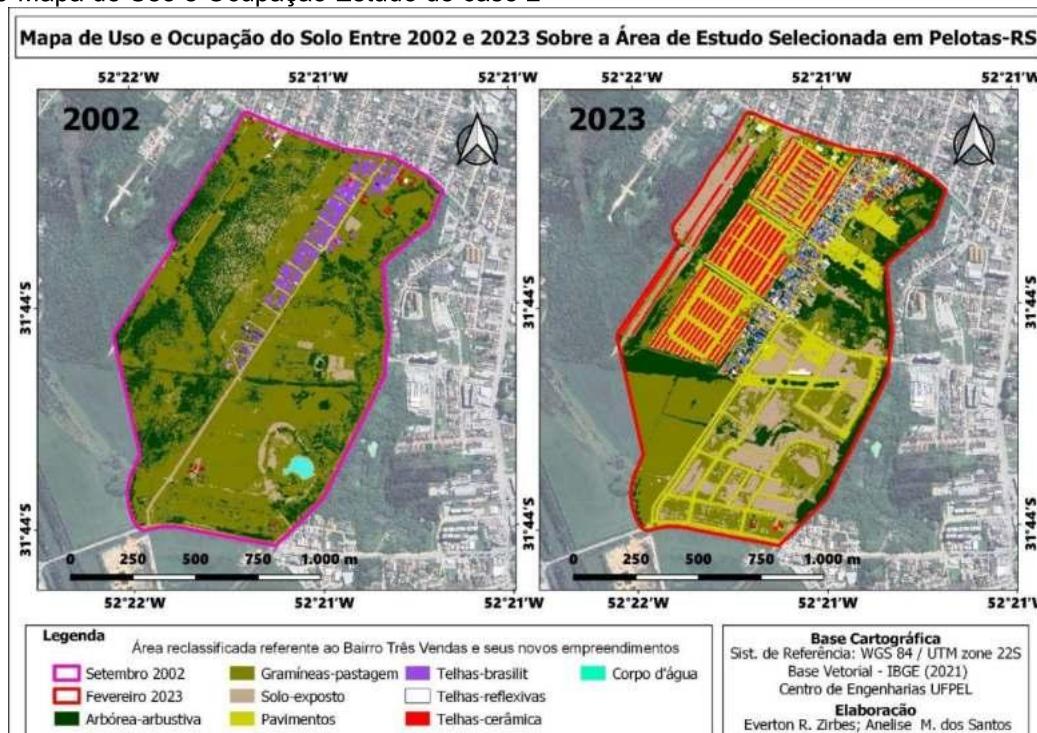
A concepção de projeto que comprehende a etapa de infraestrutura voltada especificamente a drenagem é baseada na ideia higienista, ou seja, o volume escoado é direcionado da cota montante para a cota a jusante tendo destino o recurso hídrico mais próximo (sanga existente).

Nesta análise observou que apesar de tratar da área que apresenta a maior diferença de cotas topográficas mais significativas dentro do contexto do relevo predominantemente plano. A mesma não possui soluções sustentáveis como nas áreas compreendidas pelo estudo de caso 1. Com intuito de minimizar o volume de água escoada na área em intervenção.

Para fundamentar a análise temporal, apresentam-se cenários com um intervalo de 21 anos, conforme ilustrado na Figura 36. No cenário de 2002, observa-se que as áreas ocupadas se restringiam às vias locais perpendiculares à Rua Jacob Baini, na área Terra Nova.

No cenário de 2023, contudo, evidencia-se uma expansão significativa, marcada pela consolidação urbana e pela presença de diversos empreendimentos, como o bairro Quartier e os condomínios Terra Nova, Mordas Club, Sevilha, e Toskana II, entre outros.

Figura 36-Mapa de Uso e Ocupação Estudo de caso 2



Fonte: autores, 2022.

A análise comparativa do segundo caso estudado revelou uma expressiva redução de 36,45% na área de pastagem com gramíneas. Em contrapartida, observou-se um aumento nas áreas de telhados classificados em superfícies reflexivas, fibrocimento e cerâmica, com incrementos de 1,48%, 0,45% e 8,33%, respectivamente. Adicionalmente, registrou-se uma expansão de 22,42% na área destinada à pavimentação.

Ao prosseguir com a análise dos dados obtidos no estudo de caso 2, verificou-se um aumento de 10,01% na área de solo exposto, acompanhado por uma redução de 36,45% na cobertura vegetal. Esta última alteração pode ser atribuída à movimentação de terra realizada durante a fase de escavações. Esses resultados estão detalhados na Tabela 17.

Tabela 17-Resumo da análise de comparação- Estudo de Caso 2—Quartier cenário -9/2002 – 2/2023.

	Cenário 9/2002	Cenário 2/2023		
	%	Área (Hectares)	%	Área (Hectares)
1 Arbustos-Árvores	23,24	33.714,00	17,41	25.263,00
2 Pastagem-Gramíneas	65,23	94.639,00	28,78	41.753,00
3 Solo	6,77	9.818,00	16,78	24.342,00
4 Telha-Reflex	0,16	226,00	1,64	2.378,00
5 Telha-Fibrocimento	3,39	4.916,00	3,84	5.578,00
6 Telha-Cerâmica	0,35	514,00	8,68	12.591,00
8 Pavimento	0,45	654,00	22,87	33.190,00
9 Corpo-d'água	0,42	613,00		
	100%	145.094,00	100%	145.094,00

Fonte: MultiSpec Application

A estatística Kappa média diante de todas as amostras apresentadas na Tabela 12 atinge o valor de 96,23% para este caso, reflete uma concordância substancial entre as classificações observadas e as esperadas, indicando ainda um elevado grau de confiabilidade no processo de classificação.

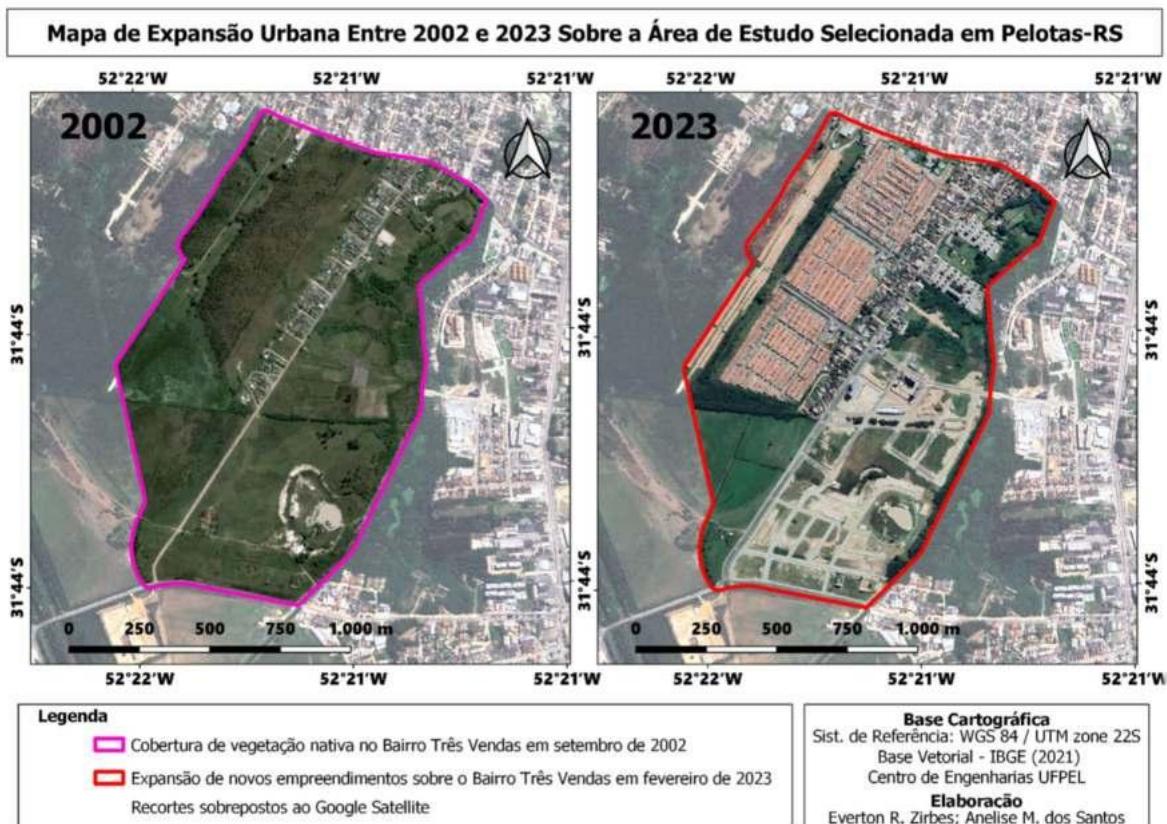
A variância do coeficiente Kappa variou entre 0,000001 e 0,000062, indicando uma consistência excepcionalmente elevada entre as classificações. Essa baixa variância ressalta a estabilidade e precisão do processo de classificação para esta categoria específica de imagens orbitais. Esses resultados corroboram a confiabilidade e a acurácia do método de classificação adotado para as imagens orbitais analisadas. Os dados correspondentes encontram-se na Tabela 18. Ademais, a matriz de confusão desta análise está disponível para consulta detalhada nos anexos E e F.

Tabela 18- Descrição do índice Kappa

Over class	performance	Estatistica Kappa	Kappa variável
C. 2002	96,00%	95,4%	0.000009
	94,00%	90,0%	0.000062
C. 2023	94,4%	94,4%	0.000001
	96,6%	96,1%	0.000022

Fonte: MultiSpec Application

Figura 37-Mapa de Expansão Urbana da análise 2

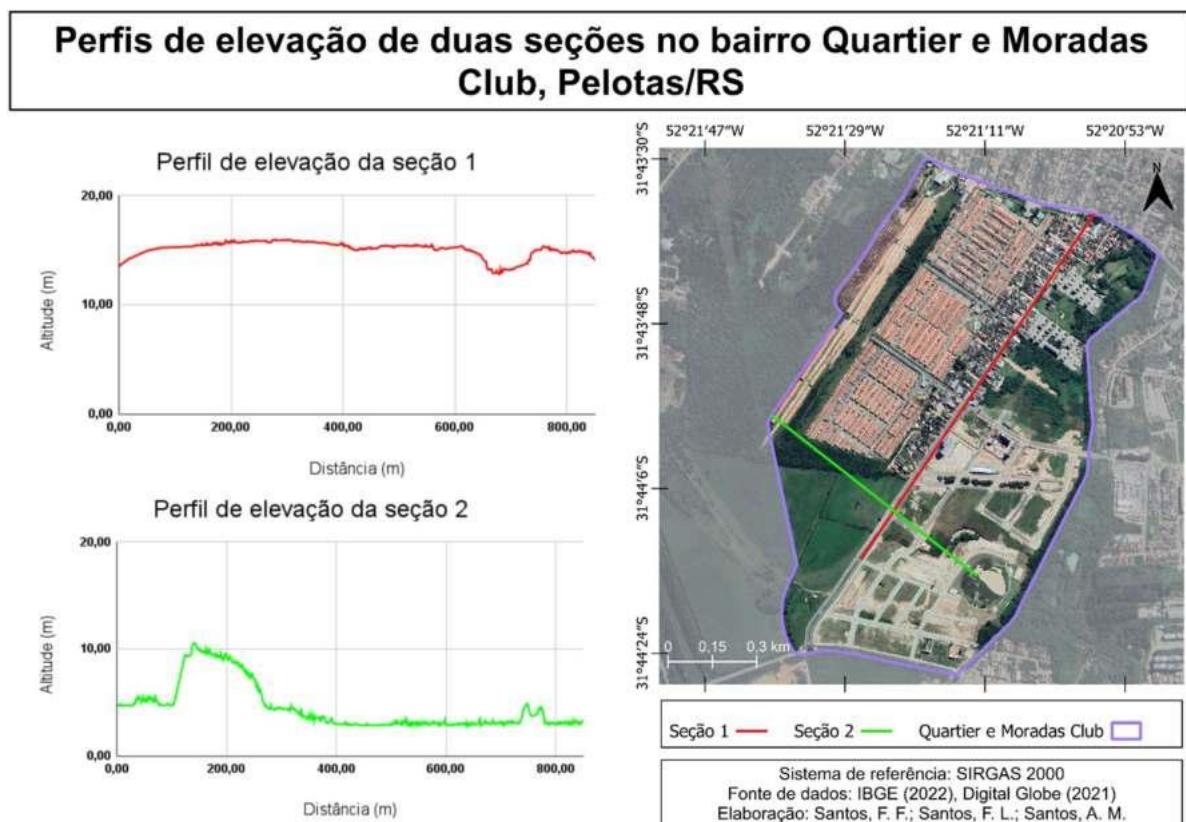


Fonte: autores, 2023.

Com o objetivo de caracterizar a topografia da área em análise, foi desenvolvido um perfil batimétricos detalhado. Os dados obtidos indicam uma variação de altitude entre 3,0 e 20,0 metros, conforme demonstrado na Figura 38.

Observa-se que o estudo de caso 2 apresenta uma diferença altimétrica significativamente superior em relação ao estudo de caso 1. Essa característica destaca a relevância de uma preservação criteriosa das áreas, especialmente das cotas mais baixas, com o intuito de assegurar a capacidade de recepção e amortecimento das vazões provenientes das regiões adjacentes. Essas restrições estão delineadas na Figura 41, com orientações baseadas no Plano Municipal de Saneamento Básico PMSB, (2018).

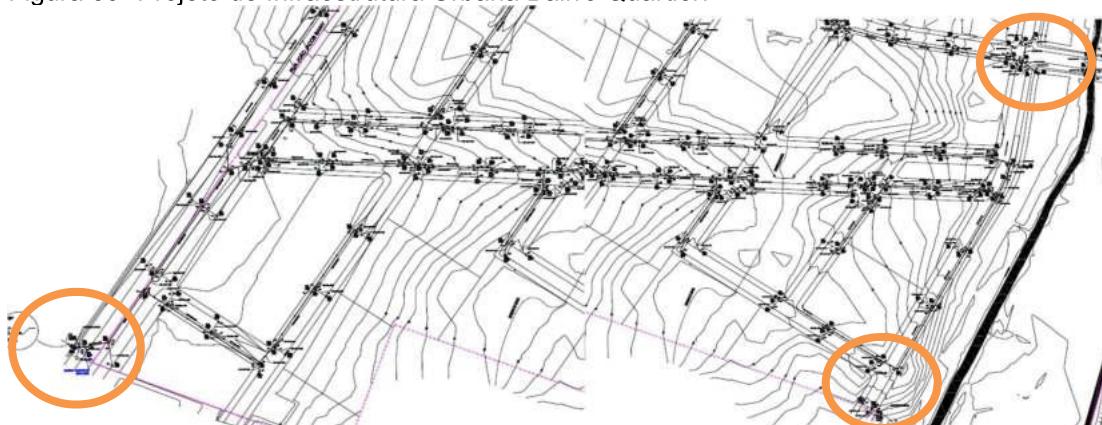
Figura 38- Perfil de Elevação Are de estudo 2



Fonte: autoras,2023.

Caracterizada a área foco do estudo, passamos à apresentação das concepções de infraestrutura idealizadas para atender à demanda decorrente da ocupação prevista. A rede de drenagem urbana foi projetada considerando a topografia local e preservando uma fração da área definida como Área de Preservação Permanente (APP). No desenvolvimento do projeto, esta área foi concebida como zona úmida, com o objetivo de controlar, na fonte, os impactos resultantes das mudanças de uso e ocupação do solo. Esse elemento foi integrado ao projeto como uma bacia de detenção, destinada a regular a velocidade do escoamento até o ponto de deflúvio ou exutório, que, neste caso, é representado pela Sanga das Três Vendas (popularmente conhecida como Sanga da Barbuda). Esses aspectos são destacados na Figura 39 e Figura 40.

Figura 39- Projeto de Infraestrutura Urbana Bairro Quartier.



Fonte: Sanep, 2023.

Figura 40 - Projeto de Infraestrutura Rede de Esgoto Pluvial- exutório B. Quarter



Fonte: Sanep, 2023

Neste estudo de caso cabe destacar considerações contidas no Plano Municipal de Saneamento Básico em vigência que atribui a áreas específica conforme destaca na Figura 41 a condição de cenário futuro a utilização de áreas adjacentes a destinação como reservatório de amortecimento.

Figura 41 - Locais considerados disponíveis para a inserção de reservatórios na bacia



Fonte: PMSB , 2018

Figura 42- Visão Geral do acesso ao Bairro Quartier.



Fonte: autora, 2023.

Diante deste contexto a autarquia responsável pela gestão do saneamento básico do município foi questionada a respeito da viabilidade de um empreendimento justamente em uma dessas áreas conforme destaca Figura 43.

Figura 43- Proposta de Implantação de um Empreendimento



Fonte: Sanep, 2024.

Embora o projeto inclua áreas com lagos, conforme observado em outros empreendimentos, o instrumento de regulamentação vigente sobre amortecimento hídrico inviabiliza essa intervenção. A criação de lagos resultaria em um aumento significativo da vazão direcionada a uma região adjacente com vulnerabilidades conhecidas, propensa a inundações. A Figura 44 ilustra o sentido do escoamento que seria gerado, agravando a problemática característica dessa área.

Diferentemente do estudo de caso 1, nesta situação, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) cumpriu seu papel ao promover o desenvolvimento de maneira sustentável.

Figura 44- Dinâmica de escoamento atual



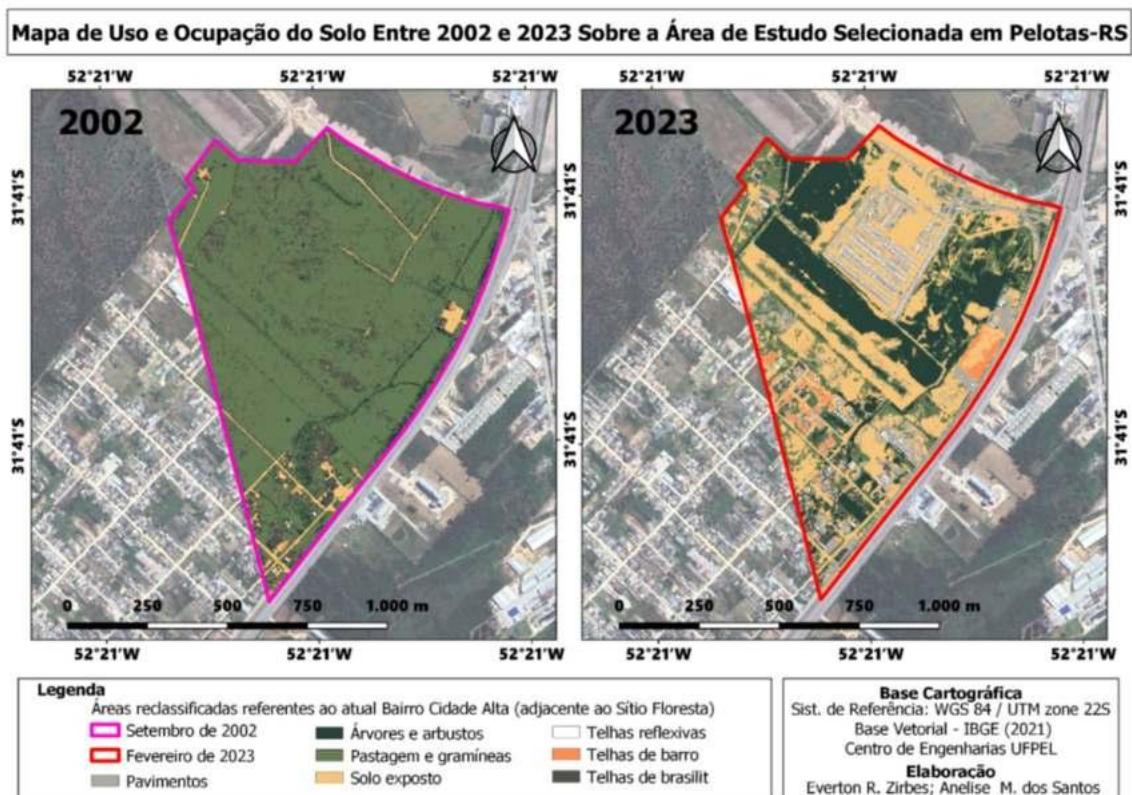
Fonte: Sanep, 2024

5.2.3 Estudo de Caso 3- Área específica no Bairro Cidade Alta.

A área em estudo no caso 3 localiza-se na zona de transição entre o bairro urbano Sítio Floresta e o início dos empreendimentos conhecidos como Cidade Alta, no extremo norte do perímetro urbano. Embora periférica, esta região encontra-se em fase inicial de ocupação, o que favorece a diversificação de usos e serviços devido à proximidade com a principal entrada do município de Pelotas, pela BR-116 km 518.

Para fundamentar a análise temporal, foram estabelecidos cenários com um intervalo de 21 anos, conforme ilustrado na Figura 45. No cenário de 2002, as áreas ocupadas restringiam-se às vias periféricas ao limite da área de análise, dispostas perpendicularmente. Já no cenário de 2023, observa-se uma expansão significativa, marcada pela consolidação urbana e pela presença de diversos empreendimentos, como o Condomínio Altos dos Jerivás, entre outros.

Figura 45- Mapa de Uso e Ocupação - 2022/2023



Fonte: autores, 2023.

A análise comparativa do terceiro caso estudado revelou uma redução significativa na área destinada a pastagens de gramíneas, com uma diminuição de aproximadamente 60,83%. Em contraste, observou-se um aumento nas áreas de cobertura com telhados, especificamente nas categorias de telhas reflexivas, fibrocimento e cerâmica, com destaque para as telhas reflexivas, que, em 2002, não apresentavam registros. Em 2023, as telhas reflexivas atingiram uma área de 2,78%, enquanto as telhas de fibrocimento e cerâmica representaram 0,03% da cobertura total, respectivamente.

Adicionalmente, constatou-se que as áreas de pavimentação corresponderam a 8,72% da superfície, sendo representativas apenas nos cenários de 2023.

Dando continuidade à análise dos dados obtidos no terceiro caso, foi identificado um aumento de 41,09% na área de solo exposto. Esta alteração pode ser atribuída, de forma justificável, às escavações realizadas para obras de infraestrutura. Esta interpretação encontra-se detalhada Tabela 19.

Tabela 19 -Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 3-- Cidade Alta -2002 2023.

	Classes	%	Cenário 2002	%	Cenário 2023
			Área (Hectares)		Área (Hectares)
1	Arbustos-Árvores	4,67	67.453,00	22,02	18.921,00
2	Pastagem-Gramíneas	78,53	3.182,00	18,58	15.962,00
3	Solo	3,70	63,00	36,47	31.182,00
3	Telha-Reflexiva	0,07	11.097,00	2,92	2.507,00
4	Telha-Fibrocimento	12,92	92,00	3,42	2.940,00
5	Telha-Cerâmica	0,11	4.012,00	1,90	1633,00
6	Pavimento			14,69	12.624,00
TOTAL		100%	85.899, 00	100,00%	85.923,00

Fonte: MultiSpec Application

A estatística Kappa média diante de todas as amostras apresentadas na Tabela 12 atinge o valor de 97,93% para este caso, reflete uma concordância substancial entre as classificações observadas e as esperadas, indicando um elevado grau de confiabilidade no processo de classificação.

A variância do coeficiente Kappa apresentou valores entre 0,000003 e 0,000028, revelando uma consistência excepcionalmente elevada entre as classificações. Essa baixa variância evidencia a estabilidade e precisão do processo de classificação para esta categoria específica de imagens orbitais. Tais resultados confirmam tanto a confiabilidade quanto a acurácia do método de classificação adotado nas imagens orbitais analisadas. Os dados detalhados podem ser consultados na Tabela 20 enquanto a matriz de confusão desta análise encontra-se disponível para consulta nos anexos G e H.

Tabela 20- Descrição do índice Kappa

Over class	performa	Estatistica Kappa	Kappa variável
C. 2002	99,8%	99,9%	0.000003
	99,2%	98,9%	0.000006
C. 2023	97,1%	96,7%	0.000005
	96,9%	96,4%	0.000028

Fonte: MultiSpec Application

Figura 46- Mapa de Expansão urbana da análise 3

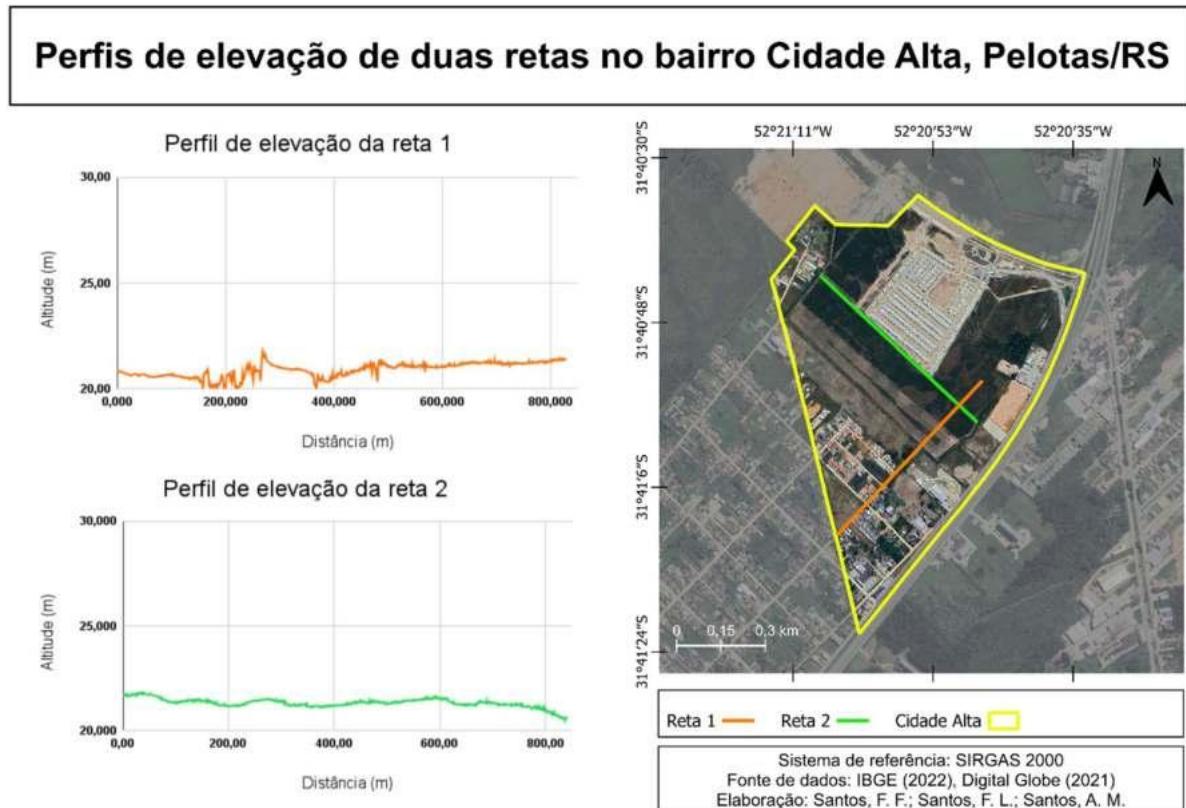


Fonte: autores, 2023.

Para complementar a análise, foi elaborado um perfil altimétrico detalhado da área em estudo. Os dados obtidos revelam uma variação de altitude entre 20,0 e 24,0 metros, conforme destaca Figura 46.

Observa-se novamente uma condição semelhante à do estudo de caso 2; contudo, essa área se localiza em uma porção de cotas mais elevadas, porém com menor amplitude de oscilação altimétrica em comparação ao caso anterior.

Figura 47- Perfil de Elevação da Área 3



Fonte: autoras, 2024.

Conforme a viabilidade técnica número 64/2021, emitida pela autarquia, o empreendimento em questão localiza-se na bacia de acumulação da Barragem Santa Bárbara. Este documento estabelece diretrizes para a elaboração do projeto de infraestrutura, salientando a importância de justificar a solução adotada e de considerar a mitigação de impactos a jusante. Ademais, o relatório destaca a elevada capacidade de infiltração da área, decorrente da significativa presença de cobertura permeável.

Diante do exposto a Figura 48 apresenta o projeto de infraestrutura de drenagem idealizado para a primeira etapa do empreendimento. Destacando a indicação da cor verde dentro do condomínio Altos dos Jerivás se tratar de um reservatório de retardo pluvial que será detalhada da sequência conforme Figura 50

Figura 48- Projeto de Infraestrutura Urbana Drenagem Urbana



Fonte: Sanep, 2023.

O amortecimento ocorre em duas etapas inicialmente no reservatório indicado posterior do canal conforme destaca das Figura 49 . Apesar dessa solução adotada ter como princípio a redução do volume de escoamento gerado.

Figura 49- Imagens durante inspeção técnica no canteiro de obra



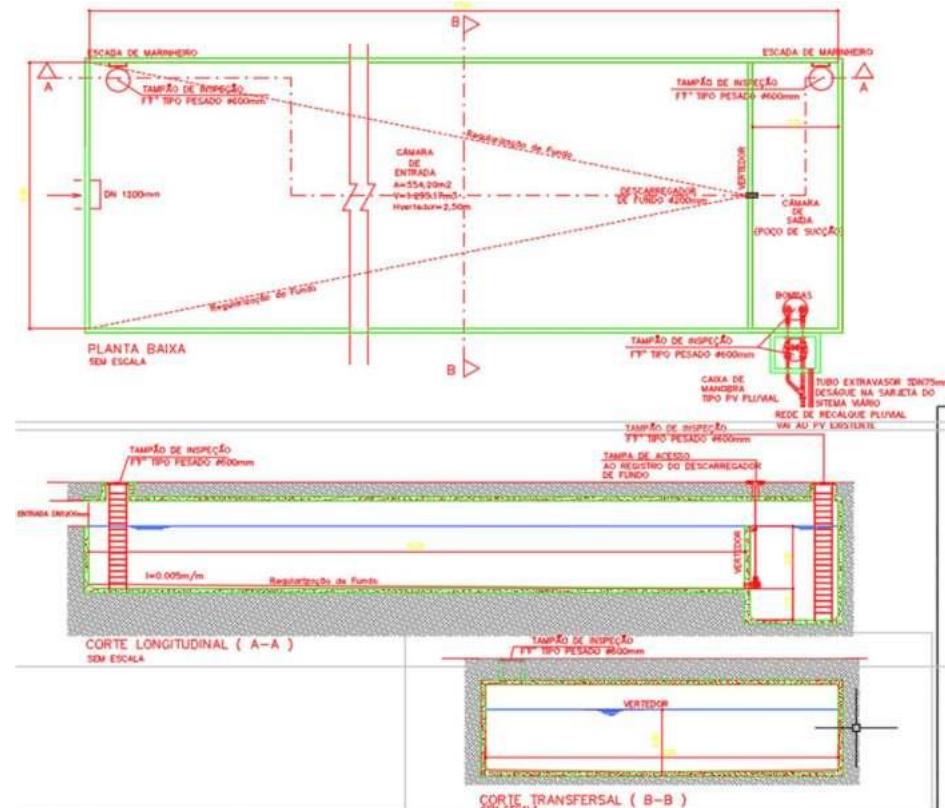
Fonte: autora, 2023.

Importa salientar que a solução adotada decorre da fragilidade da legislação vigente, especialmente do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que não define diretrizes obrigatórias para a implementação de técnicas sustentáveis de drenagem urbana. Embora o PMSB inclua técnicas compensatórias como alternativas sustentáveis, estas são apresentadas apenas como sugestões, sem prever incentivos específicos para sua adoção.

Em contraste, algumas localidades, como a cidade de Criciúma, estudando a viabilidade da implementação de incentivos fiscais como o “IPTU Verde”, que, segundo De Cesare et al. (2015), promove a construção de projetos eficientes e sustentáveis mediante concessões no valor do IPTU, incentivando práticas de desenvolvimento urbano sustentável. Essa abordagem está alinhada com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento para todos.

É relevante mencionar que, no contexto do empreendimento analisado, foi projetada uma solução de escoamento inovadora para a área, pouco explorada no município, que inclui a construção de uma bacia de detenção. Esta estrutura foi dimensionada conforme diretrizes contidas o manual de Drenagem do SANEP, resultando nas dimensões de 65,20 metros por 8,50 metros e capacidade de armazenamento de 1.295,17 m³, conforme ilustrado na Figura 50.

Figura 50- Detalhe do Reservatório de Retardo Pluvial



Fonte: Sanep, 2024

A seguir na Figura 51 é apresentado uma sequência de imagens aéreas das etapas da construção da referida estrutura situada em uma área de uso comum do condomínio.

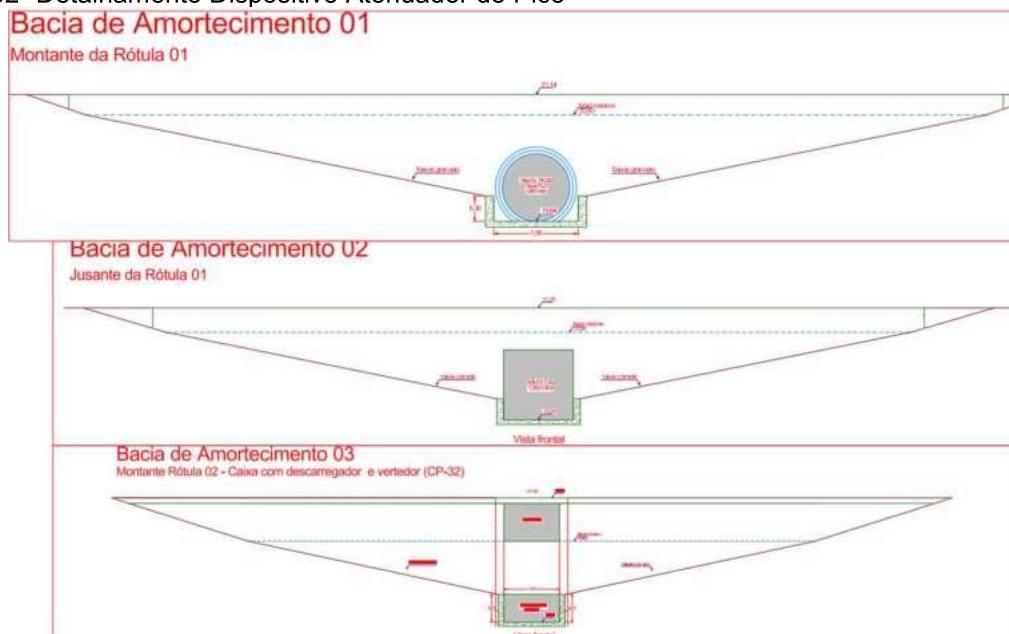
Figura 51-. Evolução temporal da execução do reservatório de Retardo Pluvial



Fonte: Google earth pro

Esses importantes elementos da infraestrutura de drenagem urbana foram submetidos a condições extremas durante o evento de cheia ocorrido em maio de 2024, revelando trechos do canal principal (Figura 52) com desempenho insuficiente para escoar adequadamente a vazão gerada pela precipitação intensa. Essa falha foi identificada pela equipe técnica da autarquia durante a rotina de monitoramento e fiscalização das obras dessa infraestrutura. Em vista dessa constatação, foi requisitada a correção das deficiências observadas.

Figura 52- Detalhamento Dispositivo Atenuador de Pico



Fonte: Sanep, 2024.

5.2.4 Estudo de Caso 4- Área específica na região alta do bairro Laranjal.

Realizar uma análise temporal para identificar as principais consequências infraestruturais decorrentes das alterações no cenário urbano da região é essencial. Em seguida, é necessário desenvolver uma discussão aprofundada sobre esses impactos identificados.

Embora a área estudada esteja situada em uma cota relativamente elevada em comparação com a orla, a expansão urbana ocorrida nos últimos anos gerou impactos expressivos, especialmente no volume de escoamento superficial. Nesse contexto, destaca-se a importância da implementação de técnicas compensatórias de drenagem urbana, como as práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low

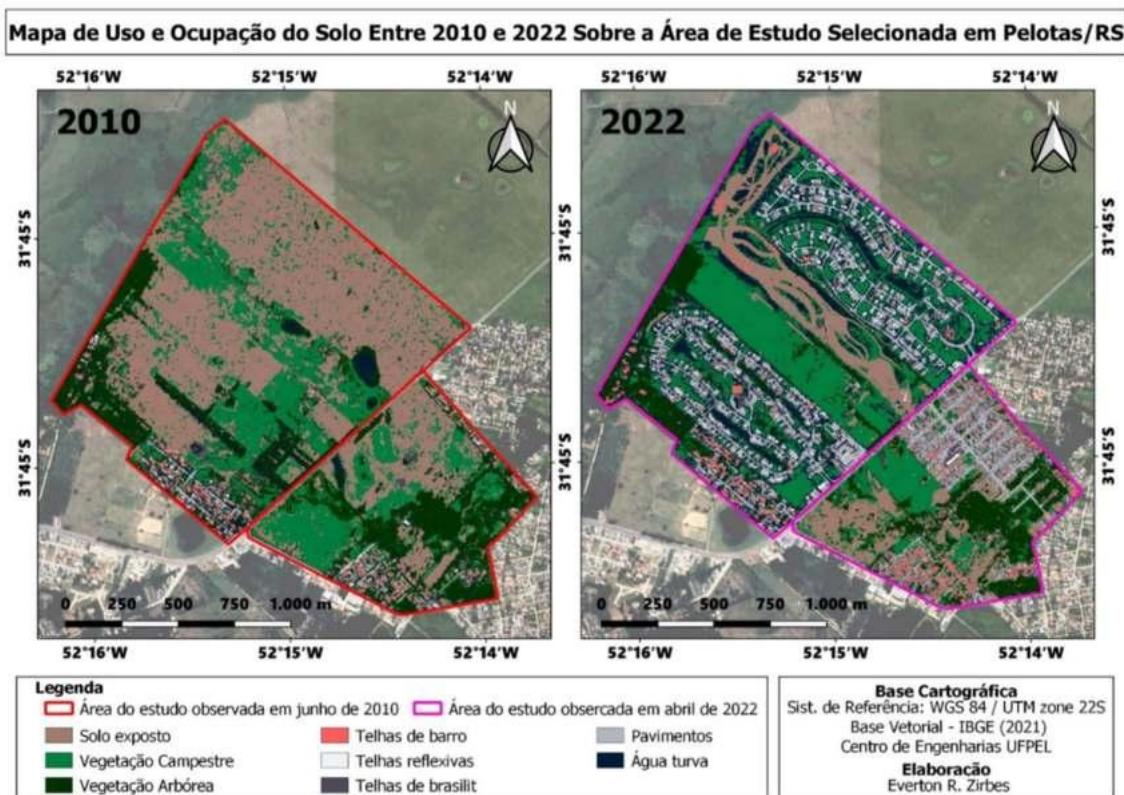
Impact Development - LID). Essas técnicas buscam mitigar, parcial ou totalmente, o impacto gerado pela impermeabilização do solo, atuando diretamente na fonte, isto é, no lote de origem do escoamento superficial. Com essa abordagem, é possível reduzir a vazão e a velocidade do escoamento que a infraestrutura de drenagem adjacente precisa suportar. Além disso, tais técnicas auxiliam na restauração do ciclo hidrológico, ampliando a infiltração e, assim, promovendo um equilíbrio hídrico mais sustentável.

Outro ponto de destaque do ponto de vista infra estrutural é a demanda gerada pelo crescimento das unidades habitacionais. Considerando os empreendimentos planejados para a área de análise (Alphaville, Riviera e Veredas), que somam um total de 1.277 lotes, observa-se um aumento significativo na demanda por saneamento básico, abastecimento de energia, sistema viário e outros serviços essenciais.

Uma das infraestruturas diretamente impactadas por essa expansão urbana é o sistema de abastecimento de água. O manancial de captação de água bruta para essa área é o arroio Pelotas, e seu sistema de adução localiza-se em uma área privada que foi comercializada para desenvolvimento imobiliário, com viabilidade técnica aprovada pelo Serviço de Saneamento Autônomo de Pelotas.

Para fundamentar a análise temporal, foram considerados cenários com um intervalo de 12 anos, conforme ilustrado na Figura 53 . Inicialmente, o cenário de 2010 indicava ocupação restrita ao Loteamento São Conrado e aos primeiros quarteirões da Vila Mariana. Já em 2022, observa-se uma significativa expansão, caracterizada pela consolidação urbana e pelo surgimento de novos empreendimentos, como o Loteamento Amarílis e os condomínios Alphaville, Riviera, Veredas, entre outros.

Figura 53-Mapa de Uso e Ocupação do Solo - 2010/2022.



Fontes Zirbes, 2023.

A análise comparativa do quarto caso estudado revelou alterações significativas. Considerando que a área total analisada abrange 4,91 hectares, o estudo foi dividido em duas subáreas para maior detalhamento. Inicialmente, a área avaliada foi denominada Amarílis, onde se observou uma redução expressiva de aproximadamente 3,27% e 5,7 na extensão destinada a arbórea e vegetação campestre, respectivamente. Em contrapartida, constatou-se um aumento nas áreas cobertas por telhados, com crescimento específico nas categorias de telhas cerâmicas (1%), fibrocimento (3,71%) e telhas reflexivas (0,51%).

Conforme discutido por Zirbes, (2024), identificou-se uma sobreposição espectral entre as classes de telhas de fibrocimento e pavimentos, bem como entre vegetação arbórea e campestre. Essa sobreposição decorre da elevada correlação cromática entre os pixels dessas categorias, o que resulta em similaridade espectral. Apesar dessas limitações, as taxas de acurácia mantiveram-se superiores a 80%, garantindo a confiabilidade dos resultados apresentados.

Além disso, houve um aumento de 6,09% nas áreas pavimentadas. Outro ponto de relevância nesta análise é a detecção de água turva exclusivamente no cenário inicial de 2010, o que também constitui um aspecto notável do estudo.

Tabela 21- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 4 Subárea- Amarilis cenário -2010 a 2022.

	classes	Cenário 2010		Cenário 2022	
		%	Área (Hectares)	%	Área (Hectares)
1	Solo	61,66	86,33	60,93	85,21
2	Veg campestre	15,63	21,89	9,93	13.89
3	Arbórea	16,14	22,60	12,87	18,00
4	Agua turva	1,61	2,25		
5	Telha-Cerâmica	0,40	0,56	1,40	1.95
6	Telha-Fibrocimento	2,43	3,40	6,14	8.582
7	Telha Reflexiva	0,26	0,37	0,77	1,07
8	Pavimentos	1,88	2.64	7,97	11,14
TOTAL		100%	140,02	100,00%	139,85

Fonte: MultiSpec Application

A análise da subárea denominada Veredas e Alphaville revelou características peculiares nas camadas estudadas. No que diz respeito ao solo, constatou-se uma redução de 70%. Em contrapartida, os itens relacionados à vegetação campestre e arbórea apresentaram um aumento relativo, passando de 11,99% e 7,34% para 14,53% e 55,04%, respectivamente.

Os demais itens analisados também demonstraram aumentos significativos, atribuídos principalmente ao crescimento urbano, evidenciado pela expansão de vias e edificações na área em questão. As coberturas de telhas cerâmicas, fibrocimento e telhas reflexivas apresentaram incrementos de 0,41%, 0,74% e 1,24%, respectivamente. Já a área de pavimentação registrou um aumento ainda mais expressivo, de 6,71%.

Adicionalmente, observou-se a presença de água turva em ambos os cenários analisados, com um aumento de 10,69% na comparação entre os períodos. Tal fenômeno é atribuído à existência de lagos nos três condomínios situados dentro da subárea estudada. Os dados detalhados podem ser consultados na Tabela 22.

Tabela 22- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 4 Subárea- Veredas e Alphaville cenário -2010 a 2022.

	classes	Cenário 2010		Cenário 2022	
		%	Área (Hectares)	%	Área (Hectares)
1	Solo	76,19	267,50	6,16	21,63
2	Veg campestre	11,99	42,08	14,53	51.01
3	Arbórea	7,34	25,77	55,04	193,31
4	Agua turva	1,48	5,19	12,17	42,74
5	Telha-Cerâmica	0,23	0,82	0,64	2,24
6	Telha-Fibrocimento	2,23	7,83	2,97	10,43
7	Telha Reflexiva	0,10	0,34	1,34	4,72
8	Pavimentos	0,44	1,55	7,15	25,11
TOTAL		100%	351,11	100,00%	351,20

Fonte: MultiSpec Application

A estatística Kappa média para todas as amostras apresentadas na Tabela 23 é de 95,49%, evidenciando uma concordância substancial entre as classificações observadas e as esperadas, o que indica um elevado grau de confiabilidade no processo classificatório. A variância do coeficiente Kappa variou entre 0,000004 e 0,000162, o que demonstra uma consistência excepcionalmente alta entre as classificações. Esta baixa variância reflete a estabilidade e a precisão do processo de classificação para essa categoria específica de imagens orbitais.

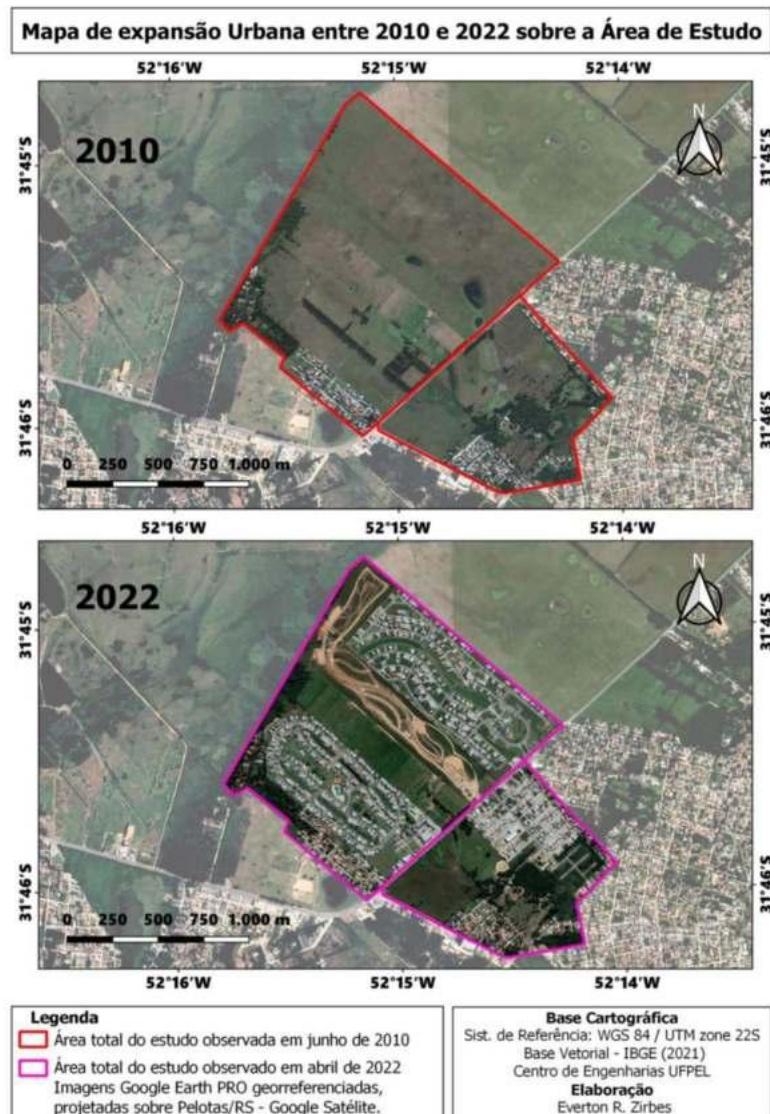
Esses resultados corroboram a confiabilidade e a acurácia do método de classificação empregado nas imagens orbitais analisadas. Detalhes completos dos dados estão na Tabela 23 e Tabela 20 e a matriz de confusão referente a esta análise pode ser consultada nos anexos I, J, K e L.

Tabela 23- Descrição do índice Kappa

Over class	performance	Estatistica Kappa	Kappa variável
C.A. 2010	99,0%	98,9%	0.000006
	97,6 %	97,3%	0.000004
C. A. 2022	97,1%	96,6%	0.000018
	90,8%	89,2%	0.000162
C.V 2010	97,8%	97,9%	0.000008
	96,9%	96,4%	0.000052
C.V 2022	95,8%	95,28%	0.000023
	93,2%	92,3%	0.000104

Fonte: MultiSpec Application

Figura 54- Mapa da análise de cenários estudo de caso 4



Fonte: Zirbes, 2023.

Para aprofundar a análise, foi elaborado um perfil altimétrico detalhado da área em estudo. Os dados obtidos indicam uma variação altimétrica entre 4,0 e 17,0 metros, conforme ilustrado na Figura 55. Observa-se uma condição semelhante à do estudo de caso 3; entretanto, essa área encontra-se em uma porção de cotas mais elevadas, quando comparada ao perfil altimétrico da Subárea Amarilis, que será apresentado na Figura 59.

Figura 55- Perfil de Elevação da Área 4 – Subáreas Veredas e Alphaville.



Fonte: autoras, 2024.

Serão a seguir apresentados os projetos de infraestrutura urbana dos empreendimentos edificados na área em estudo, assim como as soluções adotadas para o escoamento superficial das águas pluviais.

Em particular nas Figura 56, Figura 57 e Figura 58 serão detalhados os projetos de infraestrutura relacionados à rede de drenagem urbana dos condomínios Alphaville, Riviera e Veredas. Em cada um destes, o ponto de exutório está apontado por uma seta vermelha, indicando a área onde existe um canal. Cabe destacar que o escoamento gerado no condomínio Alphaville corta a área interna do condomínio Rivieira

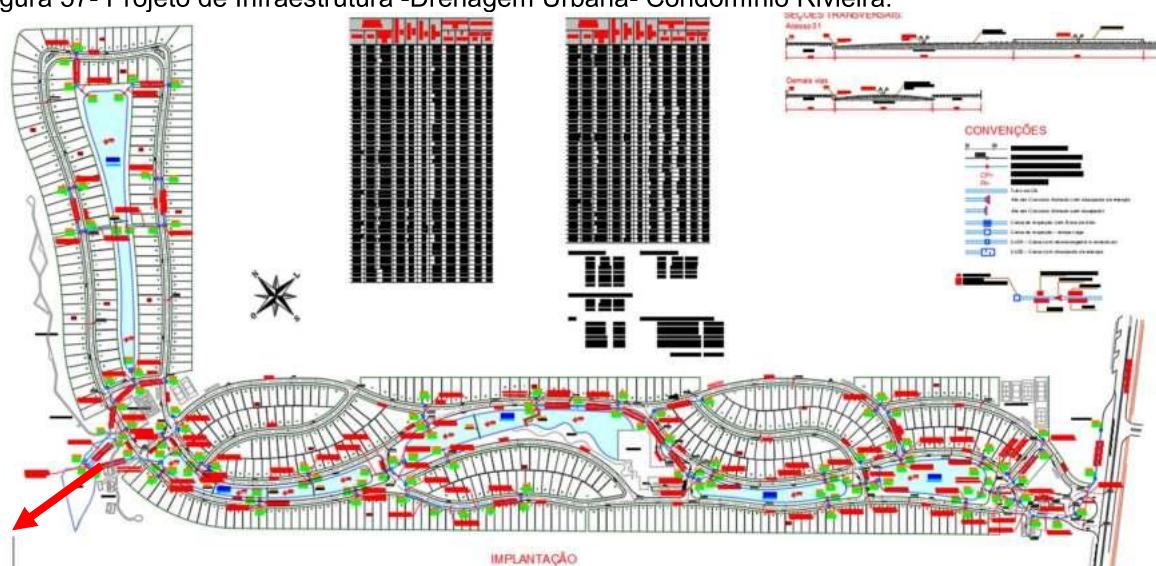
Os três condomínios compartilham uma concepção de projeto semelhante, que inclui a implantação de uma sequência de lagos com dupla função: além de contribuírem para o paisagismo, esses lagos atuam como elementos de amortecimento da vazão de escoamento superficial gerado pelo aumento da impermeabilização do solo, causada pela construção de pavimentos e telhados. A manutenção de um nível mínimo de lâmina de água nestes lagos auxilia na redução da vazão de escoamento, mitigando, assim, o impacto ambiental do aumento das áreas impermeáveis.

Figura 56- Projeto de Infraestrutura -Drenagem Urbana- Condomínio Alphaville.



Fonte: Sanep, 2023

Figura 57- Projeto de Infraestrutura -Drenagem Urbana- Condomínio Riviera.



Fonte: Sanep, 2024

Figura 58- Projeto de Infraestrutura -Drenagem Urbana- Condomínio Veredas

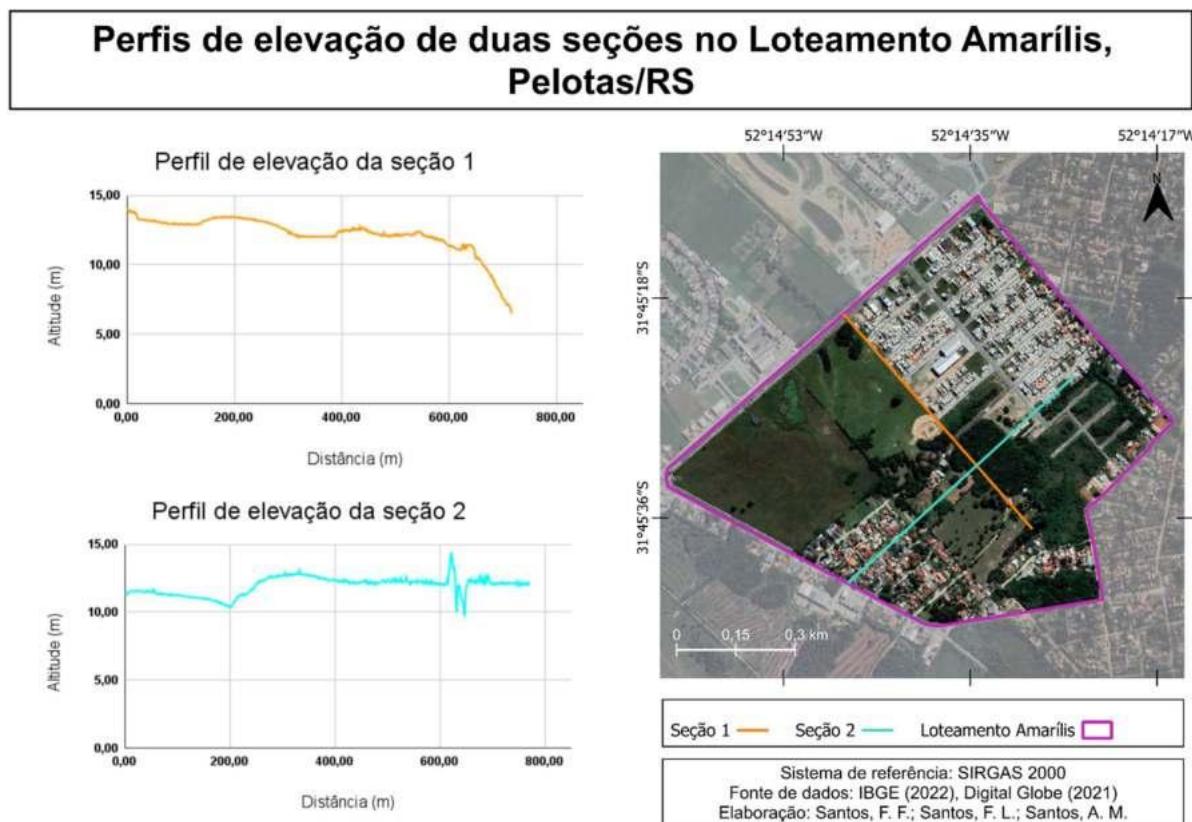


Fonte: Sanep, 2024.

Para aprofundar a análise, foi elaborado um perfil altimétrico detalhado da área em estudo, evidenciando uma variação de altitude entre 4,0 e 14,0 metros, conforme representado na Figura 59. É importante destacar que, devido à abrupta oscilação observada no final do perfil de elevação da seção 1, aliada a problemas de inclinação inadequada identificados in loco, essa porção da infraestrutura de drenagem não está operando de forma eficiente. Em função desta inadequação, a equipa de fiscalização de obras da autarquia exigiu a devida correção como condição para o recebimento definitivo dessa infraestrutura.

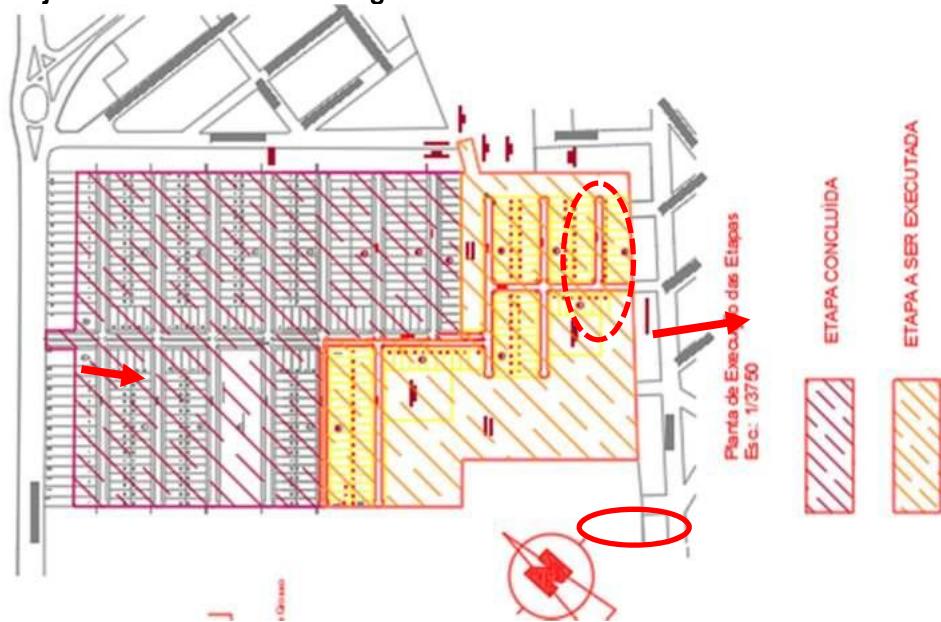
Adicionalmente, destaca-se o perfil de elevação da seção 2, onde ocorre a maior variação altimétrica. Nessa área está localizado um lago que, em condições extremas, apresenta extravasamento inadequado. Esse problema ocorre devido à execução da infraestrutura do loteamento Amarílis, ilustrada Figura 60 que interrompeu o seu escoamento natural.

Figura 59- Perfil de Elevação da Área 4 – Subáreas Amarilis



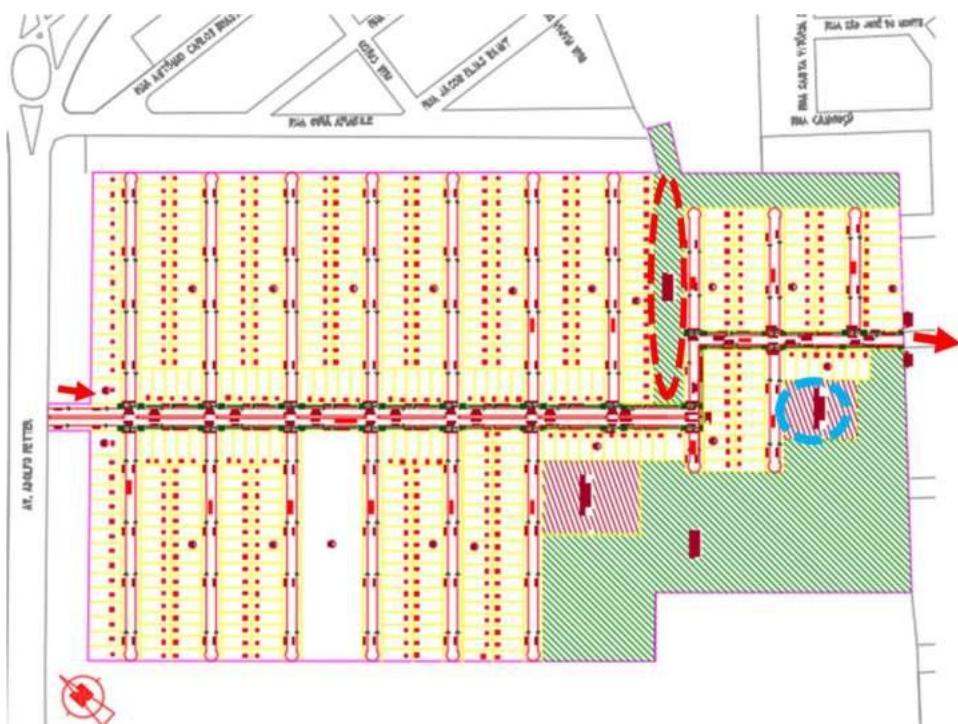
Fonte: autoras 2024.

Figura 60- Projeto Infraestrutura –Drenagem Urbana - Loteamento Amarilis.



Fonte: Sanep, 2024.

Figura 61- Projeto Infraestrutura –Drenagem Urbana - Loteamento Amarilis



Fonte: Sanep, 2024.

Na área em análise, após os eventos climáticos significativos ocorridos ao longo deste ano, foi possível identificar evidências de que a infraestrutura projetada opera de forma significativamente deficiente na sua funcionalidade. Diante dessas constatações, foi necessária a emissão de uma notificação ao responsável técnico pela execução da infraestrutura, para que sejam realizadas as adequações imprescindíveis. Outro elemento importante identificado na área do Loteamento Amarilis, indicado pelo círculo tracejado em vermelho, é a presença de um sítio arqueológico, fator que impôs restrições à ocupação total do local, limitando a execução do número total de lotes projetados.

Na Figura 61, observa-se, à esquerda, a seta vermelha indicando o ponto inicial da rede de drenagem, enquanto à direita outra seta vermelha marca o ponto de entroncamento com a rede preexistente. Neste ponto final, são visíveis sinais de erosão devido à ausência de um sistema adequado de dissipação de energia, fator que compromete tanto a durabilidade quanto a segurança da infraestrutura. Além disso, a localização da bacia de infiltração está indicada pelo círculo tracejado em azul.

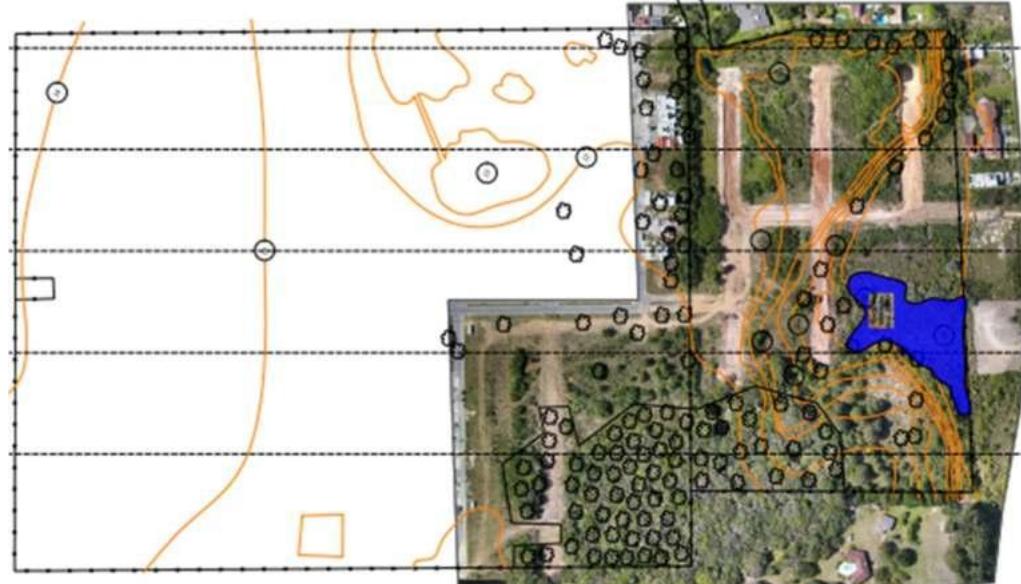
Diante dessa constatação e considerando que a rede foi formalmente recebida pela autarquia desde dezembro de 2020 a equipe técnica de fiscalização concentrou-

se em uma análise detalhada da infraestrutura urbana local, com o objetivo de diagnosticar as causas prováveis dessa deficiência.

Nas vistorias realizadas durante o monitoramento, foram observadas falhas no projeto original, que, em sua concepção, desconsiderou a necessária interação com as características ambientais do entorno. Historicamente, o excedente hídrico da área era escoado por meio de uma vala, cuja função foi interrompida pela construção do empreendimento, o que aumentou a suscetibilidade de uma área específica a inundações.

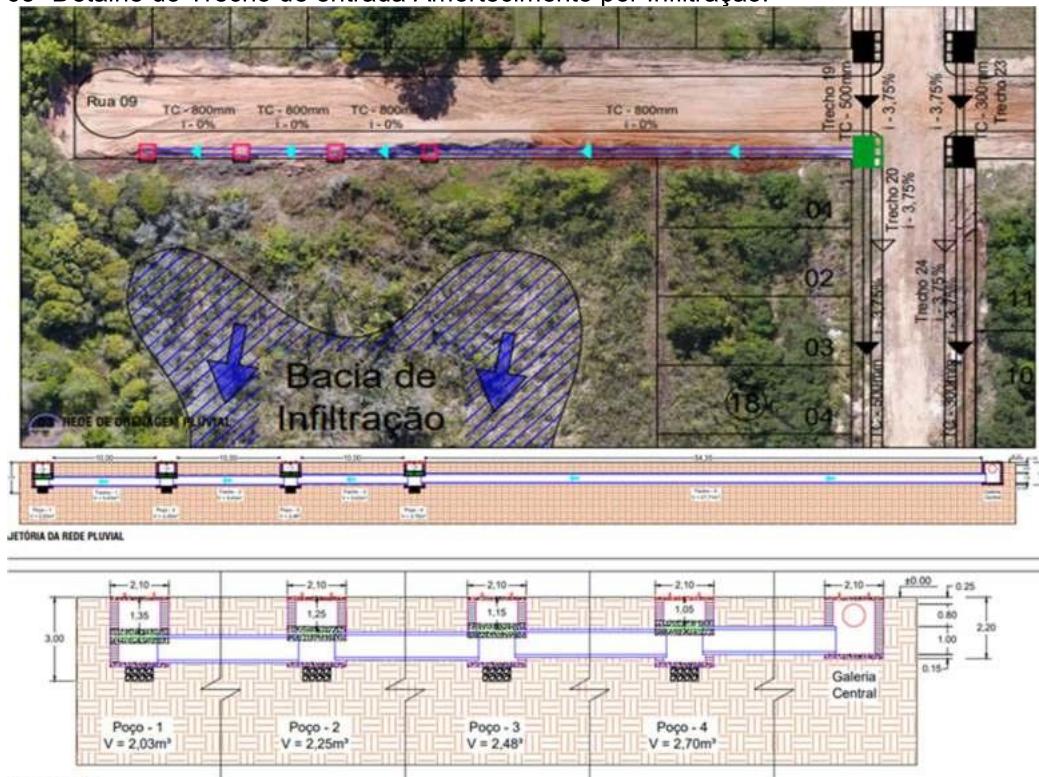
Outro aspecto relevante observado foi a ausência de um sistema de dissipação de energia na rede de drenagem executada, resultando em altas velocidades de escoamento em trechos de cotas mais baixas. Ademais, o trecho final antes do deságue na bacia de infiltração com área de 4.400 m², conforme ilustrado na Figura 63 apresentou uma inversão na inclinação da rede em operação, comprometendo sua funcionalidade.

Figura 62- Localização Reservatório de Amortecimento



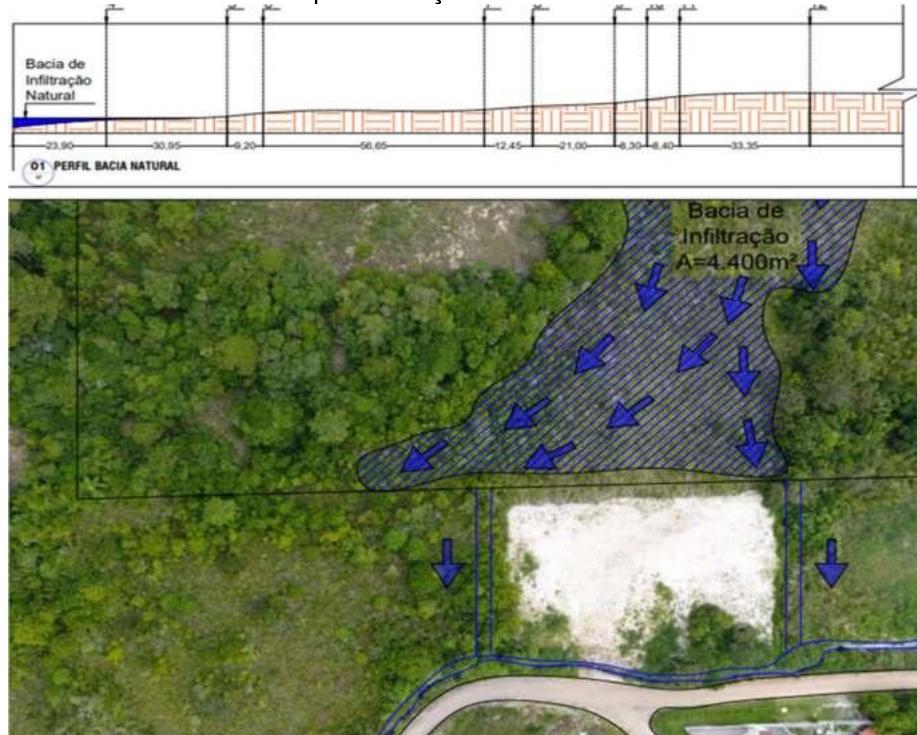
Fonte: SANEP, 2024.

Figura 63- Detalhe do Trecho de entrada Amortecimento por Infiltração.



Fonte: Sanep, 2024

Figura 64- Detalhe do Amortecimento por Infiltração



Fonte: Sanep, 2024.

5.2.5 Estudo de Caso 5 - Área específica Avenida Ildefonso Simões Lopes

A última área de foco da análise localiza-se ao longo da extensão de um importante via arterial, a Avenida Engenheiro Ildefonso Simões Lopes, que desempenha um papel estratégico de interligação com a região nordeste da cidade. Esta análise tem como ponto de partida uma área que, por longo período, foi caracterizada como um vazio urbano, situando-se nas proximidades do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Campus Visconde da Graça.

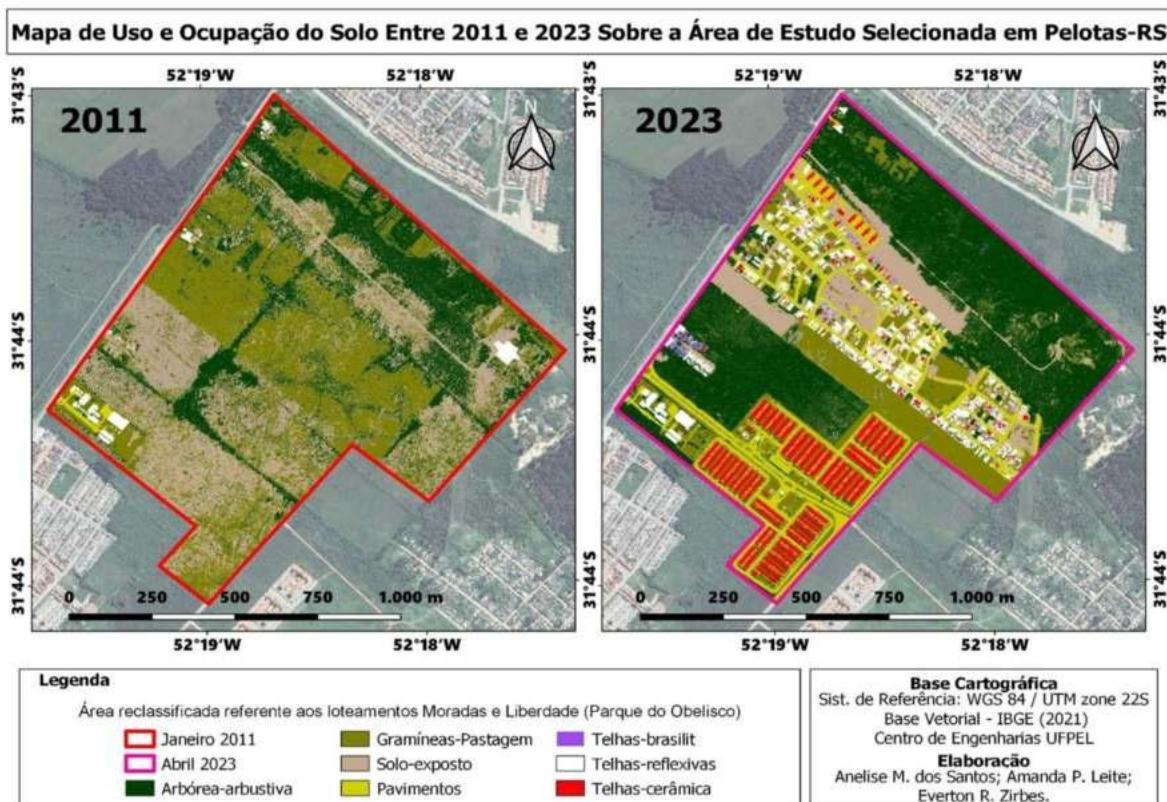
Importa destacar que este estudo de caso é relevante por evidenciar o crescimento e desenvolvimento urbanos na região, impulsionados pelas diretrizes estabelecidas no Plano Diretor Municipal do Pelotas (PDM), que prioriza o aproveitamento vertical nas vias arteriais, orientando o uso intensivo do solo.

No primeiro cenário analisado, observa-se a presença de áreas verdes em torno de ocupações esparsas. Estas áreas demonstram uma condição de vulnerabilidade, dada a fragilidade da legislação atual, que carece de critérios específicos para a ocupação de áreas mais afastadas do centro urbano. Essa situação é confirmada pelas limitações na infraestrutura disponível, observadas através da emissão das viabilidades técnica para cada empreendimento emitidas pela autarquia, onde é destacado restrições na oferta de serviços de saneamento básico.

Essa conjuntura resulta em uma desvalorização do valor do metro quadrado, o que fomenta a especulação imobiliária, apesar de se tratar de uma área próxima a zonas com urbanização consolidada.

Ao examinar os cenários de pré-ocupação (2011) e pós-ocupação (2023), apresentados na Figura 65 observa-se uma redução significativa na área permeável, acompanhada pelo aumento de áreas impermeáveis. Estes elementos, tais como edificações, coberturas e pavimentações, são destacados e especificados conforme a legenda indicada na referida figura, reforçando a transformação do uso do solo e sua consequente impermeabilização.

Figura 65-Mapa de Uso e ocupação do solo da análise 5.



A análise comparativa do quinto caso estudado revelou um aumento de 8,73% na cobertura de vegetação arbórea. Em contrapartida, verificou-se uma redução expressiva de aproximadamente 14,24% na área destinada a pastagens de gramíneas. Observou-se também um crescimento nas áreas cobertas por telhados, com um incremento geral de 12,2% para todos os tipos de coberturas. Adicionalmente, houve uma expansão de 13,66% nas áreas pavimentadas, conforme exposto na Tabela 24.

Tabela 24- Resumo da análise de comparação - Estudo de Caso 5 Subárea- B Moradas e Liberdade cenários -2011 0 2023.

	Classes	Cenário 2011		Cenário 2023	
		%	Área (Hectares)	%	Área (Hectares)
1	Arbórea	29,91	35.029	28,64	46.305
2	Telhas Totais	1,01	1.214	13,21	15.849
3	Pavimentos	0,37	445,00	14,03	16.828
4	Pastagem Gramíneas	38,22	45.861	23,98	28.759
5	Solo exposto	31,20	37.438	10,18	12.213
TOTAL		100%	119.987	100%	119.954

Fonte: MultiSpec Application

A estatística Kappa média para todas as amostras é de 95%, conforme destacada na Tabela 25 indicando uma concordância substancial entre as classificações observadas e esperadas e demonstrando um elevado grau de confiabilidade no processo classificatório. A variância do coeficiente Kappa, entre 0,000005 e 0,000047, evidencia uma consistência excepcionalmente alta entre as classificações, refletindo a estabilidade e precisão do processo de classificação para essa categoria de imagens orbitais.

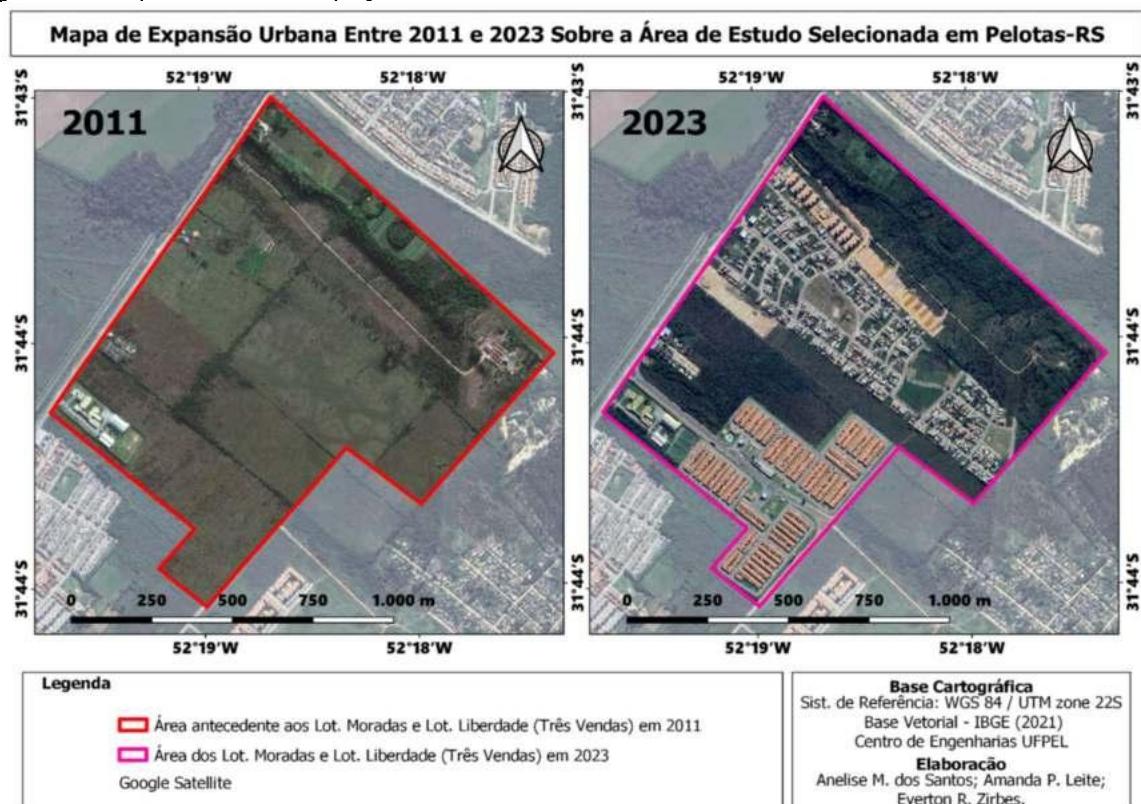
Esses resultados confirmam tanto a confiabilidade quanto a acurácia do método de classificação adotado nas imagens orbitais analisadas. Dados completos podem ser consultados na Tabela 25, enquanto a matriz de confusão está disponível nos anexos M e N.

Tabela 25- Descrição do Índice Kappa

	Over class performance	Estatistica Kappa	Kappa variável
C.2011	98,4%	98,7%	0.000005
	96,3%	95,7%	0.000034
C.2023	96,7%	96,1%	0.000008
	91,0%	89,5%	0.000047

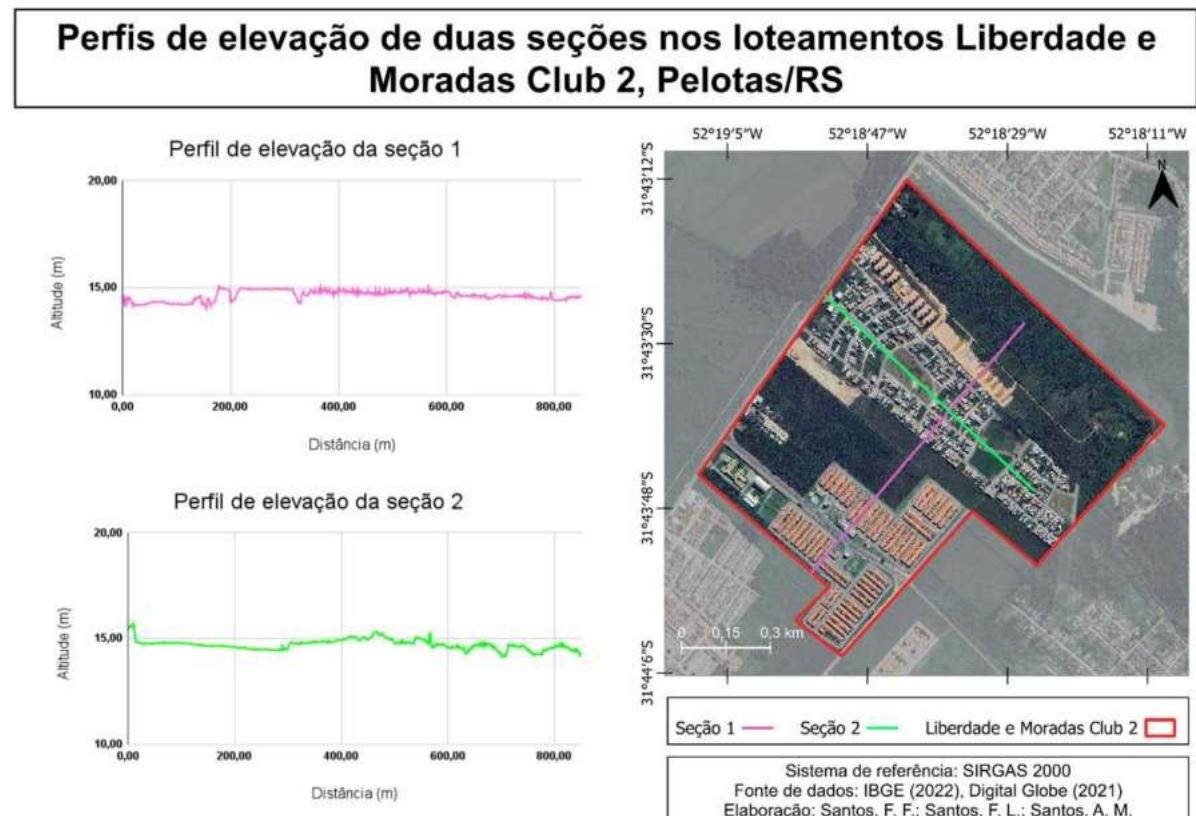
Fonte: MultiSpec Application

Figura 66- Mapa de Uso e ocupação do solo da análise 5.



Fonte: autoras ,2023.

Figura 67- Perfil Área 5 Moradas Pelotas.



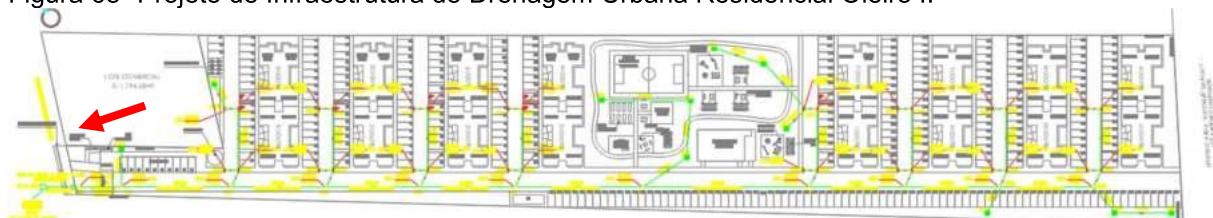
Fontes: autoras, 2024

É pertinente contextualizar as concepções dos projetos de infraestrutura idealizados para a área em análise, bem como as soluções adotadas para o direcionamento do volume de escoamento gerado, resultante da construção de um conjunto de condomínios habitacionais e de um loteamento, totalizando 2600 unidades, conforme apresentado nas Figura 68, Figura 70 , Figura 72 e Figura 72.

As Figura 68 e Figura 69 evidenciam as fases de desenvolvimento do Residencial Oleiro, que apresentam direções distintas para o escoamento gerado. Conforme indicado pela seta vermelha na Figura 68 o escoamento da primeira fase direciona-se para o canal de macrodrenagem localizado na Avenida Engenheiro Ildefonso Simões Lopes. Na segunda fase, o escoamento é conduzido para o canal existente que atravessa o loteamento Arco Íris, uma área adjacente à região em análise, conforme ilustrado na Figura 69.

Cabe destacar que na primeira fase o entroncamento desta infraestrutura foi precedido de um dissipador de energia como forma de minimizar o impacto do acréscimo da nova demanda gerada. Em ambas as fases, a concepção do projeto da rede de drenagem limitou-se à aplicação do conceito higienista, sem o uso de dispositivos voltados à redução da vazão gerada. Ademais, é importante ressaltar que, na primeira fase, o entroncamento dessa infraestrutura foi precedido pela instalação de um dissipador de energia, com o intuito de minimizar os impactos decorrentes do acréscimo da nova demanda de escoamento.

Figura 68- Projeto de Infraestrutura de Drenagem Urbana Residencial Oleiro I.



Fonte: Sanep, 2023

Figura 69 - Projeto de Infraestrutura de Drenagem Urbana Residencial Oleiro II



Fonte: Sanep, 2023

O loteamento Liberdade, empreendimento que abrange uma área de aproximadamente 30 hectares, teve o projeto de infraestrutura da rede de drenagem subdividido em três áreas. O direcionamento do escoamento gerado é indicado pelas três setas em vermelho na representação da Figura 70.

Conforme a Declaração de Viabilidade Técnica nº 13 de 2012, emitida pela autarquia, o direcionamento do escoamento gerado pelo empreendimento deve ocorrer para o canal de macrodrenagem existente nas proximidades, identificado, neste caso, como o canal situado na Avenida Engenheiro Ildefonso Simões Lopes. Todo o excedente de escoamento superficial do loteamento deverá ser conduzido a este canal.

Figura 70- Projeto de Infraestrutura de Drenagem Urbana Loteamento Liberdade.



Fonte: Sanep, 2023

Ressalta-se ainda que, como recomendação, foi sugerido que o projeto de drenagem do empreendimento incorpore dispositivos e obras voltados à retenção e contenção, além da manutenção das condições naturais de infiltração, visando o amortecimento e a redução do escoamento superficial.

Em consonância com as diretrizes mencionadas, a concepção do projeto de drenagem adota uma solução de controle na fonte, localizada na área próxima à segunda seta indicada Figura 70 onde foi projetada uma bacia de retenção com área de 0,6 hectares. Esse dispositivo visa o amortecimento do escoamento da área central do empreendimento, e seu ponto de extravasamento está direcionado para o mesmo canal utilizado pelo empreendimento Residencial Oleiro II para o lançamento do escoamento, conforme ilustrado na Figura 69.

Embora este elemento desempenhe um papel fundamental para o funcionamento eficiente da infraestrutura de drenagem, o seu dimensionamento não foi apresentado de forma detalhada para apreciação durante o processo de aprovação dos projetos. Nesse contexto, torna-se complexo quantificar a redução da vazão de escoamento, mesmo para fins comparativos, como em relação à vazão de restrição estabelecida para o município de Porto Alegre, que dispõe deste parâmetro crucial

definido segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU, 2005). A vazão de restrição ré urbanização estabelecida para o município de Porto Alegre é de 20,8 l/(s.ha);

Figura 71- Imagem aéreas da bacia de retenção



Fonte: Google Earth Pro, 2024.

O último conjunto de empreendimentos que estão inseridos na área foco desta análise é o condomínio Moradas Pelotas II, conforme destaca a Figura 72.

Figura 72- Projeto de Infraestrutura- Drenagem Urbana Condomínio Moradas Pelotas 2 Ildefonso.



Fonte: Sanep, 2023

O projeto foi subdividido em três subáreas, de modo a desenvolver soluções específicas para o escoamento gerado, resultando em três pontos distintos de deságue, indicados por setas vermelhas. A solução adotada para o escoamento baseia-se exclusivamente no conceito higienista, similar ao aplicado em outros empreendimentos localizados na área de estudo. A seta vermelha à esquerda da Figura 72 indica o escoamento direcionado ao canal da Avenida Engenheiro Ildefonso Simões Lopes, enquanto a segunda seta, na parte superior da mesma figura, aponta para uma vala existente, e a terceira seta, à direita, indica o escoamento direcionado para a vala da Rua do Obelisco. Todos os três pontos de deságue possuem apenas muros de ala no local de interceptação.

. Apesar de estar situada em uma cota relativamente elevada, como evidenciado na Figura 56 e no PMSB (2018), página 494, que apresenta proposições de macrodrenagem para a área a montante da Bacia do Arroio Pelotas, a solução adotada transfere os impactos para a jusante da bacia. Esse impacto tende a se intensificar à medida que as áreas próximas são ocupadas, resultando no aumento da vazão de escoamento.

Embora a área esteja situada em uma cota relativamente elevada, conforme evidenciado na Figura 67 no perfil topográfico, e igualmente destacado pelo PMSB (2018) na página 494, que apresenta proposições de macrodrenagem para a região a montante da Bacia do Arroio Pelotas, a solução adotada neste projeto transfere os impactos para a jusante da bacia. Esse impacto tende a se intensificar com a ocupação das áreas próximas, levando ao aumento da vazão de escoamento.

6 Implementação de Técnicas LID nas áreas estudadas

A análise fundamentada nos dados oriundos da planilha, que contempla o comportamento dos talvegues e as variações de cotas entre montante e jusante, reveste-se de importância para consolidar a comparação entre as cinco áreas de estudo. Com base nesses dados, recomenda-se a criação de uma planilha ou gráfico comparativo que sintetize as informações obtidas para cada caso analisado, facilitando a visualização das particularidades e diferenças de cada área.

No Estudo de Caso 1, com enfoque na subárea Umuarama, verificou-se que, mesmo no cenário atual, sem intervenções estruturais, a região demonstra uma predisposição natural para retenção hídrica. Essa característica destaca a relevância do conceito de "cidade esponja" como uma estratégia sustentável e integrada para mitigar os desafios das inundações urbanas.

Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de soluções de engenharia ambientalmente responsáveis. Tal como ocorre em outras áreas do município, onde a insuficiência de pressão no Sistema de Abastecimento de Água (SAA) demanda a implementação de reservatórios estratégicos, o sistema de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais exige intervenções técnicas específicas para garantir um controle efetivo do escoamento superficial. Dispositivos como bacias de retenção e detenção surgem como alternativas eficazes para mitigar os impactos das cheias e promover uma gestão urbana mais sustentável.

Adicionalmente, cabe destacar uma realidade distinta: na área adjacente ao Quartier, observa-se a manutenção de uma função natural de amortecimento, assegurada pela aplicação de instrumentos normativos que protegem essa dinâmica. Diferentemente de Umuarama, essa região permanece relativamente preservada, evidenciando o papel crucial do planejamento regulatório como ferramenta de preservação ambiental e mitigação dos impactos hidrológicos.

No Estudo de Caso 4, foram identificadas duas situações contrastantes. Nos condomínios Veredas, Riviera e Alphaville, o planejamento urbano incorporou estratégias de controle na fonte, incluindo a implementação de áreas alagadas que atuam como dispositivos de amortecimento hídrico, associadas a reservatórios de retenção que mantêm uma lâmina d'água mínima. Essas infraestruturas

demonstraram elevada eficácia na mitigação dos impactos resultantes de eventos pluviométricos intensos, conforme ilustrado nas Figura 60, Figura 61e Figura 62. Em contraposição, na subárea do Loteamento Amarilis, a não implementação das soluções projetadas resultou em episódios recorrentes de alagamentos e processos erosivos. Tal cenário evidencia a importância do monitoramento técnico rigoroso ao longo da execução de projetos de infraestrutura urbana, uma vez que a ausência de conformidade com as diretrizes estabelecidas compromete diretamente a segurança e a qualidade de vida da população local.

Por sua vez, no Estudo de Caso 5, situado em uma cota média de 15 metros, constatou-se que intervenções realizadas na área podem gerar impactos significativos nas regiões a jusante, situadas em cotas mais baixas. Um exemplo dessa dinâmica é o trecho de escoamento que atravessa o condomínio Moradas Pelotas em direção à Rua Corredor do Obelisco, conforme ilustrado na Figura 70. Registros recentes indicam a ocorrência de alagamentos em pontos de menor elevação durante eventos de precipitação intensa, evidenciando a transferência de impactos hidrológicos entre áreas com diferentes altimetrias.

Esses ressaltam a importância de um planejamento urbano integrado, que contemple tanto as condições locais quanto os reflexos em áreas adjacentes. A abordagem higienista tradicional, historicamente negligente em relação aos impactos ambientais, necessita ser reavaliada, de modo a incorporar estratégias mais holísticas e sustentáveis, alinhadas às exigências contemporâneas da gestão urbana.

Com base nas condições avaliadas ao longo da análise, foi possível quantificar as variações dos parâmetros hidráulicos fundamentais para o dimensionamento de soluções técnicas adequadas a cada particularidade do estudo. Inicialmente, todas as camadas do solo foram analisadas e classificadas conforme sua capacidade de infiltração, permitindo a determinação do coeficiente de escoamento superficial (C), conforme a Equação 2. Adicionalmente, para a estimativa da vazão máxima, foram calculados a intensidade média pluviométrica (Im), com base na Equação 3 e tempo de concentração (TC) conforme Equação 4. Os valores obtidos estão detalhados na Tabela 26 a qual apresenta os resultados consolidados das análises realizadas.

Tabela 26 – Estimativas do tempo de concentração e intensidade de precipitação média pluviométrica.

Estudo caso 1	Área (ha)	Talvegu e (km)	Diferença nível (m)	TC (min)	Im (mm/h)
Subárea Cruzeiro	0,88	0,81	0,94	45,76	60,4
Subárea Umuarama	2,0	1,46	1,6	73,64	45,5
Estudo caso 2					
Bairro Quartier	1,45	1336,49	17	78098	0,26
Estudo caso 3					
Cidade Alta	0,86	647,19	20	31748	0,51
Estudo caso 4					
Subárea Alphaville/Veredas	1,40	1360,13	13	88367	0,23
Subárea Amarilis	3,51	906,76	13	55324	0,33
Estudo caso 5					
B Moradas e Liberdade	1,20	2073,14	8	173337	0,14

A estimativa da intensidade média de precipitação foi conduzida considerando um período de retorno (TR) de 5 anos, conforme previamente especificado. Adicionalmente, visando garantir a consistência da análise, foi realizado o dimensionamento do tempo de retorno para a série de dados apresentada na Tabela 27.

Tabela 27- Estimativa do tempo de retorno para 2, 5, 10, 50 e 100 anos respectivamente

Estudo caso 1	TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR50	TR100
Subárea Cruzeiro	52,03	51,38	67,64	75,73	87,92	98,44
Subárea Umuarama	39,18	88,61	50,94	57,03	66,22	74,14
Estudo caso 2						
Bairro Quartier	0,22	0,26	0,29	0,32	0,37	0,42
Estudo caso 3						
Cidade Alta	0,44	0,51	0,57	0,64	0,74	0,83
Estudo caso 4						
Subárea Alphaville/Veredas	0,20	0,23	0,26	0,29	0,34	0,38
Subárea Amarilis	0,29	0,33	0,37	0,42	0,48	0,54
Estudo caso 5						
B Moradas e Liberdade	0,12	0,14	0,16	0,17	0,20	0,23

É importante destacar que a estimativa do coeficiente de escoamento superficial e da vazão máxima foi analisada para os cenários de pré-ocupação e após ocupação de cada área estudada, com o objetivo de avaliar as variações observadas

entre esses períodos. Essas oscilações estão ilustradas na Figura 73 e Figura 74, permitindo uma análise comparativa detalhada.

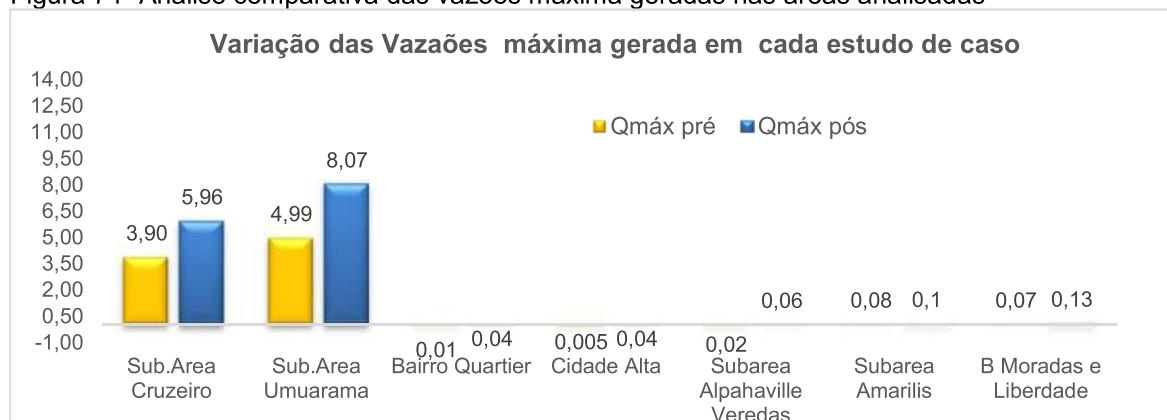
Figura 73 - Análise comparativa dos coeficientes de escoamento superficial geradas nas áreas analisadas



Fonte: autora, 2024.

Como é possível observar em todos os estudos de caso o coeficiente de escoamento superficial aumentou e consequentemente a sua vazão máxima.

Figura 74- Analise comparativa das vazões máxima geradas nas áreas analisadas



Fonte: autora, 2024.

No Estudo de Caso 1, na subárea Cruzeiro, observou-se um aumento de 14,06 no coeficiente de escoamento superficial (C), resultando em um acréscimo de 2,06 m³/s na vazão máxima (Q.máx). Na subárea Umuarama, as variações registradas foram de 12,35 no coeficiente C e 3,08 m³/s na vazão máxima.

No Estudo de Caso 2, a única área analisada, denominada B Quartier, apresentou um incremento de 25,73 no coeficiente C, o que resultou em uma variação de 0,03 m³/s na vazão máxima.

No Estudo de Caso 3, a área única denominada Cidade Alta registrou um aumento de 28,47 no coeficiente C, acompanhado de um acréscimo de 0,035 m³/s na vazão máxima.

Para o Estudo de Caso 4, as áreas analisadas foram subdivididas em subáreas, de maneira semelhante ao Estudo de Caso 1. A subárea Condomínios Alphaville e Veredas apresentou aumentos de 39,27 no coeficiente C e 0,04 m³/s na vazão máxima, enquanto a subárea Loteamento Amarílis registrou acréscimos de 9,05 no coeficiente C e 0,02 m³/s na vazão máxima.

No Estudo de Caso 5, a única área analisada, composta pelas subáreas Moradas Pelotas e Liberdade, apresentou aumentos de 14,04 no coeficiente C e 0,07 m³/s na vazão máxima.

Com base nesses resultados, verifica-se que o Estudo de Caso 1, especificamente na subárea Umuarama, apresentou a maior oscilação entre todas as áreas analisadas. Destaca-se que, nesta área em particular, há a aplicação de soluções técnicas sustentáveis, como bacias de detenção e retenção, que contribuem para a mitigação dos impactos do escoamento superficial. Essa abordagem, ainda que parcial, pode ser observada em empreendimentos como o condomínio Lagos de São Gonçalo e o Parque Una.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa de distintos cenários urbanos configura-se como instrumento fundamental para a identificação de áreas vulneráveis, subsidiando o desenvolvimento de estratégias de monitoramento da expansão urbana e permitindo a caracterização de zonas com menor capacidade de resiliência frente à ocorrência de eventos climáticos extremos. No contexto do estado do Rio Grande do Sul, a enchente registrada em maio de 2024 evidenciou de forma contundente a necessidade e a urgência dessas análises, uma vez que os impactos econômicos e sociais se estenderam significativamente nos meses subsequentes.

Conforme reportado pela emissora RBS TV (2024), diversos municípios que decretaram estado de calamidade pública enfrentaram severa redução em sua arrecadação tributária, em especial no que tange ao Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), em função das isenções fiscais concedidas às populações atingidas. Paralelamente, a queda na arrecadação do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) comprometeu sobremaneira a sustentabilidade fiscal dos governos municipais, evidenciando a fragilidade orçamentária local diante de desastres climáticos. Destaca-se, como exemplo emblemático, o município de Canoas, fortemente afetado tanto em sua infraestrutura quanto em sua atividade econômica, evidenciando como a ausência de investimentos contínuos e planejados em infraestrutura de adaptação e resiliência agrava os efeitos de eventos extremos.

Os estudos de caso realizados permitiram aprofundar a compreensão das dinâmicas hidrológicas e urbanas locais, revelando a interdependência entre ocupação do solo, infraestrutura de drenagem e gestão territorial. No Estudo de Caso 3 (Cidade Alta), verificou-se que o escoamento superficial é conduzido a um canal recentemente revitalizado que circunda o bairro Sítio Floresta e deságua na planície de inundação do Santa Bárbara. Essa configuração ressalta a necessidade de um controle técnico eficaz das vazões e da adoção de uma gestão integrada de drenagem urbana, com vistas à mitigação de impactos em áreas a jusante.

De forma semelhante, o Estudo de Caso 5 (Moradas Pelotas e Loteamento Liberdade) evidenciou que o escoamento superficial originado no condomínio Moradas Pelotas converge para três pontos principais, dentre os quais se destaca o Corredor do Obelisco, atual Avenida Manoel Antônio Peres. Essa região, caracterizada por elevada taxa de impermeabilização proveniente da intensa

urbanização, sofre recorrentes episódios de alagamento, reforçando a necessidade premente de ações de planejamento hídrico e de manejo sustentável das águas pluviais.

No Estudo de Caso 1 (Cruzeiro e Umuarama), constatou-se uma acentuada vulnerabilidade associada às variações de nível do Canal São Gonçalo. Embora o sistema de proteção inclua um dique de contenção, foram identificadas fragilidades estruturais críticas, tais como processos erosivos e segmentos com cotas inferiores a 3,50 metros. Durante a enchente de maio de 2024, medidas emergenciais foram adotadas, evidenciando a importância de monitoramento contínuo e de programas estruturados de manutenção preventiva. Ademais, a presença do dique, apesar de sua função protetiva, contribui para a geração de uma falsa sensação de segurança, estimulando a ocupação irregular em áreas cuja função original é absorver e atenuar os volumes de escoamento provenientes de setores em cotas mais elevadas.

Os dados hidrológicos estimados, incluindo a caracterização de cenários extremos e o cálculo das vazões geradas, indicaram que a legislação urbana vigente não impõe restrições adequadas à ocupação dessas áreas de risco. Esse descompasso regulatório se reflete em um processo de urbanização acelerado e desordenado, incompatível com a capacidade de escoamento da infraestrutura existente.

O Estudo de Caso 2 evidenciou o papel estratégico dos instrumentos de planejamento urbano na mitigação dos efeitos da especulação imobiliária e na preservação ambiental. Esse estudo reforçou a necessidade de regulamentações urbanísticas mais eficazes, que conciliem a proteção ambiental, a redução de vulnerabilidades socioambientais e a promoção de um desenvolvimento urbano sustentável e equitativo.

Os resultados obtidos ressaltam que as dinâmicas hidrológicas atuam de forma diferenciada em cada território analisado. No setor do Canal São Gonçalo, por exemplo, o aumento do nível do canal principal provoca refluxo e bloqueio de escoamento em afluentes como o Canal Santa Bárbara e o Arroio Pelotas, intensificando processos de alagamento em áreas adjacentes e a jusante. Essa interdependência reforça a importância de uma abordagem integrada de gestão hídrica e territorial, que considere tanto os efeitos locais quanto as repercussões em escala regional.

Nos Estudos de Caso 4 e 5, situados em áreas de cotas altimétricas elevadas, constatou-se que alterações no uso e ocupação do solo exercem influência direta sobre regiões mais distantes, com destaque para os alagamentos recorrentes observados na confluência das Avenidas Domingos José de Almeida e Manoel Antônio Peres. O Estudo de Caso 4, em particular, revelou expressiva variabilidade nas vazões superficiais, evidenciando a interconectividade hidrológica entre áreas com diferentes características topográficas e padrões de ocupação.

A estimativa do coeficiente de escoamento superficial, além de ser uma etapa técnica indispensável para o dimensionamento hidrológico, constitui um dado estratégico essencial para subsidiar a tomada de decisão em nível municipal, sobretudo no que se refere à gestão preventiva de áreas adjacentes às diretamente analisadas. Esses parâmetros hidrológicos, integrados a dados de uso do solo e projeções de crescimento urbano, podem fornecer diretrizes mais assertivas para a elaboração e revisão de planos diretores e normativas urbanísticas.

Conclui-se, portanto, que o investimento contínuo em infraestrutura urbana resiliente, associado à adoção de estratégias integradas de gestão hídrica e planejamento urbano, é essencial para mitigar os impactos de eventos climáticos extremos e promover maior sustentabilidade e segurança nas áreas urbanas avaliadas. Essas ações estão alinhadas às metas da ODS 6 da Agenda 2030, que enfatizam a gestão sustentável da água e do saneamento como pilares fundamentais para a construção de cidades resilientes, inclusivas e sustentáveis.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABREU, M. A. (2006). **A evolução urbana do Brasil.** 8^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Disponível em : https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5514983/mod_resource/content/1/mauricio%20abreu.pdf acesso em nov. 2024.

Agência para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim.(ALM) **Eventos Extremos no RS 11 de maio de 2024-Cenários e observações** disponível em: <https://agencialagoamirim.com.br/2024/05/eventos-extremos-no-rs-11-de-maio-24-cenarios-e-observacoes/>

ANDRADE, Carlos Roberto Monteiro de. **Peste e o plano: o urbanismo sanitarista do engenheiro Saturnino de Brito.** 1992. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.. disponível em : <https://repositorio.usp.br/item/000736963> acesso em: dez. 2024

ARRUDA, Juliana Bandeira de; CARNEIRO, Ana Rita de Sá. **A estética urbana no projeto de Saturnino de Brito (1887-1929).** Paisagem e Ambiente, São Paulo, Brasil, n. 22, p. 110–121, 2006. . Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/90608>. acesso em: 2 dez. 2024.

BERTONI, A. **A engenharia sanitária a serviço do urbanismo: a contribuição de Saturnino de Brito e Victor da Silva Freire para a construção dos saberes urbanos.** Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online), [S. I.], n. 22, p. 74-83, 2016. DOI: 10.11606/issn.1984-4506.v0i22p74-83. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/124546>. Acesso em: ago. 2023.

BRASIL, Lei número 10.257 de 2001. **Estatuto da Cidade. Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília,DF,11Jul.2001,Seção1,p.1.disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf> acesso em mai. 2019.

BRASIL. Lei número 12608, de 10 de Abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC;** dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; Disponível em: www.planalto.gov.br . Acesso em: julh 2018.

BRASIL, 2010b Programa 1138 – **Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial: Manual para apresentação de propostas.** Brasília: Ministério das Cidades: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2010a. disponível em : https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/saneamento/Manual_Drenagem_2009.pdf acesso em : abr. 2022 .

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento Regional** -Serviços e Informações do Governo Federal – Gov.br página eletrônica disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/assistenciasocial/2020/02/municipios-brasileiros-tem-ate-dezembro-de-2022-para-elaborar-planos-de-saneamento-basico>. acesso em: fev. de 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Termo de referência para elaboração de plano municipal de Saneamento Básico /** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 1edição – Brasília: Funasa, 2018. 187 p. disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/473>

BRASIL. Ministério das Cidades. **Guia para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico** - Brasília: Ministério das Cidades, 2011. 2^a edição. 152 p.: il. disponível: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/guiasaneamento.pdf>

BRASIL Ministério das Cidades **Resolução 75 de Julho de 2009** Estabelece orientações relativas à Política de Saneamento Básico e ao conteúdo mínimo dos Planos de Saneamento Básico. Disponível em : <https://obras.rs.gov.br/upload/arquivos/201706/07235747-conselho-das-cidades-resolucao-recomendada-n-752009.pdf>

BRASIL. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul . **Decreto 57.600, estabelece estado de calamidade pública.** Porto Alegre de 4 de maio de 2024 disponível em : <https://www.diariooficial.rs.gov.br/materia?id=1002017>

BAPTISTA, M. B., & COELHO, M. M. L. P. (2014). **Fundamentos de engenharia hidráulica.** 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 477 acesso em 18/07/2023. Disponível em: https://www.academia.edu/40485048/Fundamentos_de_engenharia_hidr%C3%A1ulica_Marcio_Baptista_e_Marcia_Lara

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD,S. (2005). **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** 1 ed. Porto Alegre: ABRH.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: Engenharia das águas pluviais nas cidades.** 2.ed. São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda., 1998. disponível em : <https://www.bvirtual.com.br/NossoAcervo/Publicacao/158699>

BROWN RR, Keath N, Wong TH. **Urban water management in cities: historical, current and future regimes.** Water Sci Technol. 2009;59(5):847-55. doi: 10.2166/wst.2009.029. PMID: 19273883. disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19273883/> acesso em 05/11/2024.

BURGER, Juliana Bandeira. **A paisagem nos planos de saneamento de Saturnino de Brito: entre Santos e Recife (1905-1917).** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, FAU/UFPE, Recife, PE. 2008. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/3124/1/arquivo2306_1.pdf acesso out de 2023.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. Urban drainage. 11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE: Spon Press, 2004. **Gestão da drenagem urbana no brasil: DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE** ISBN 9780415306072

CARVALHAIS, R. M.; DE MORAES, N. A.; SILVA, H. F.; BERNARDES, I. M. M. (2019). “**Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares**”. Brazilian Journal of Development, pp. 9765-9772

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302p. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/drenagem-urbana-e-controle-de-enchentes/p?srsltid=AfmBOor3Dade3lvfjBn9IL1SLqQRGgycron8olWxXkr0nE9cmfV-DDRk> acesso out. 2024.

CENTAUR. (2016). **CENTAUR: Cost Effective Neural Technique for Alleviation of Urban flood Risk.** D4.1 Communication Plan. Lead Partner: USFD, 13. Disponivel em : <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bed6976c&appId=PPGMS>

CERQUEIRA, M. A., Santos, P. O. C., DE FARIA, V. N. C., JÚNIOR, V. F. C., & BARBOSA, R. V. R. (2021). **Análise temporal por sensoriamento remoto da supressão de vegetação nativa em vales na cidade de Maceió, Brasil.** The Journal of Engineering and Exact Sciences, 7(1), 12151-01 disponível em : <https://beta.periodicos.ufv.br/jec/article/view/12151>

CONGALTON, R.G. “**A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data**”. Em: Remote Sensing of Environment 37 (1991), pp. 35-46. DOI: [https://doi.org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0034-4257(91)90048-B).

CORDEIRO,J; SILVA, F.H; CAMPERA, F.A.N; COSTA,F; **Sistemas de drenagem urbana e o saneamento: uma análise cienciométrica Research, Society and Development**, disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346799494_Sistemas_de_drenagem_urbana_e_o_saneamentouma_analise_cienciometrica

CHOWDHURY, M.S., HAFSA, B. “**Multi-decadal land cover change analysis over Sun-darbans Mangrove Forest of Bangladesh: A GIS and remote sensing based approach**”. Em: Global Ecology and Conservation 37 (2022), p. e0215. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02151>.disponvel em:

https://www.researchgate.net/publication/360607461_Multidecadal_Land_Cover_Change_Analysis_over_Sundarbans_Mangrove_Forest_of_Bangladesh_A_GIS_and_Remote_Sensing_Based_Approach

CRUZ, Glenda Pereira da. **Espaço construído e a formação econômico-social do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1987. Dissertação (Mestrado). UFRGS/PROPUR.. "Pelotas: espaço construído no início da República". In: WEIMER, Günter (org). Urbanismo no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS. disponível em : <https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/3751/4/000384504-Texto%2BCompleto-0.pdf>

CUNHA, Julia Figueiredo. **Corpos Dágua e Planejamento Sistêmico da Paisagem Urbana Propostas para os córregos afluentes do Rio Uberabinha em Uberlândia - MG.** 2019. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/43265238/Corpos_d%C3%A1gua_e_planejamento_sist%C3%AAmico_da_paisagem_urbana_Propostas_para_os_c%C3%B3rregos_afluentes_do_Rio_Uberabinha_em_Uberl%C3%A2ndia_MG acesso out. de 2024.

DE CESARE, C. M., FERNANDES, C. E. CAVALCANTI, C. B. **Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana. (Orgs.)**. Caderno Técnico de Regulamentação e Implementação de Instrumentos do Estatuto das Cidades. Brasília, DF: Ministério das cidades, 2015. disponível em : [Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana \(IPTU\)](#)

Deng, Abraham Ayuen Ngong; Nursetiawan e Ikhsan, Jazaul. 2024 **Sustainable Urban Drainage Systems (2014-2023) by Using Bibliometric Analysis Method** Journal of Sustainable Civil Engineering and Technology disponível em: <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/93586/1/93586.pdf> acesso em: mai. De 2024

DIAS, R .(2011) **Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade.** 2º Ed. São Paulo: Atlas, 2 ed.220 p. tab, graf. disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/ens-26961>

DORNELES, V. R., et al. "Intensity-duration-frequency Relationships of Rainfall Through the Technique of Disaggregation of Daily Rainfall". Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental, vol. 23, no. 7, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, July 2019, pp. 506–10, k disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/d67TXrzqZmPtnKNhMVX7KRj/abstract/?lang=en#> acesso em nov.2024

ELSEVIER. **Plataformas de pesquisa. SCOPUS.** 2022. disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/researchplatforms#:~:text=O%20maior%20banco%20de%20dados,sociais%20e%20artes%20e%20humanidades> . acesso em: set. 2023.

FARIA, T. de J. P. **Os projetos e obras do engenheiro Saturnino de Brito e mudança na paisagem urbana. Geografia Ensino & Pesquisa**, [S. I.J, v. 19, p. 115–122, 2015. DOI: 10.5902/2236499419375. disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/19375>. acesso em: ago. 2023.

FELDMAN, Sara. **Avanços e Limites na Historiografia na Legislação Urbanística no Brasil** Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, n. 4, p. 33, 2011 disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/55/39> acesso em: dez. 2024.

FLETCHER, Tim. D.; SHUSTER, William; HUNT, William F.; ASHLHEY, Richard; BUTLER, David; ARTHUR, Scott; TROWSDALE, Sam; BARRAUD, Sylvie; SEMADENI-DAVIES, Anette; BERTRAND-KRAJEWSKI, Jean Luc; MIKKELSEN, Peter Steen; RIVARD, Gilles; UHL, Mathias; DAGENAIS, Danielle e VIKLANDER, Maria.2015. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage.** Urban Water Journal, 56p. disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2014.916314> acesso em: dez. de 2024.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Termo de Referência para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico:** Procedimentos relativos ao convênio de cooperação técnica e financeira da Fundação Nacional de Saúde – Funasa/MS. Brasília, 2012 disponível em:

https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2012/04/2b_TR_PMSB_V2012.pdf. acesso em 20 agosto 23.

FIX, M. and P. F. ARANTES. “**São Paulo, Cem Anos De Máquina De Crescimento Urbano**”. Estudos Avançados, vol. 36, no. 105, Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, May 2022, pp. 185–209, doi:10.1590/s0103-4014.2022.36105.012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/knHKR5BVCsrww9XsdhhSwG/#> acesso em: jun de 2023.

GAVIOLI, Amanda Maria e POLL, Aparecida Simone. “**Planejamento urbano e desenvolvimento econômico: interfaces entre as políticas nacionais**” Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento 2022 disponível em :

<https://www.semanticscholar.org/paper/Planejamento-urbano-e-desenvolvimento-econ%C3%B4mico%3A-asGavioliSimone/471280643df1d455788d70a3f19e0f9838b99536> acesso: ago de 2024.

GIAMBIAGI, F.; CASTRO, L.; VILLELA, A. A.; HERMANN, J.. **Economia Brasileira Contemporânea**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. Disponível em : <https://acervo.enap.gov.br/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=521239> acesso em : dez. de 2024.

GUILHERME,O.D.S.; De OLIVEIRA, A. F. e LARANJA, R. E. P.. **A ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO URBANO NO BRASIL E IMPLICAÇÕES SOCIOAMBIENTAIS** Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais Volume 9 - Brasília 2010 disponível em : <https://www.revista.ueg.br/index.php/sapiencia/article/view/10101> acesso em out. de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS IBGE – disponível em: <https://www.ibge.gov.br/> acesso em: out 24

HALL, Peter. **Cidades do amanhã**. São Paulo: Perspectiva, 1995. JORNAL **Diário Popular**, reportagem do dia 13 de outubro de 2015. Sobre a elevação do nível da Laguna dos Patos

JACOBI, Pedro Roberto. O Brasil depois da Rio+10. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 15, p. 19–29, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47293>.acesso em: dez. 2024.

LEME, Maria da Silva (Coord.). **A formação do pensamento urbanístico no Brasil, 1895-1965**. São Paulo: Studio Nobel; Fausp; Fupam, 1999, p. 20-21 disponível em : <https://pt.scribd.com/document/589606846/LEME-Maria-Cristina-A-formacao-do-pensamento-urbanistico-no-Brasil>

LEMOS, M. F. R. C. (2010). **Adaptação de cidades para mudança climática: uma metodologia de análise para os planos diretores municipais**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em : <https://buscaintegrada.ufrj.br/Record/aleph-UFR1-000774046>

LIMA, C.C.; AMARO, V.E., ARAUJO, P.V.N., a A. L. S. 2019. **Identificação e Avaliação de Zonas de Alagamentos Urbanos, com o Suporte de Geotecnologias, na Cidade de Natal, Nordeste do Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 42 - 2 / 2019 p. 378-394 disponível em: <https://www.diariopopular.com.br/geral/trapiche-e-interditado-por-causa-da-elevacao-da-lagoa-dos-patos-146453/>

MARICATO, Ermínia. **As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias. A cidade do pensamento único: desmanchando consensos**. Tradução. Petrópolis: Vozes, 2013. disponível em : https://labcs.ufsc.br/files/2011/12/07_-MARICATO-E.-As-id%C3%A9ias-fora-do-lugar-e-o-lugar-fora-das-id%C3%A9ias.pdf acesso em: 23 abr. 2023

MARQUES, C.E.B. (2006). **Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana** (Dissertação de Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6621/1/2006_Claudia%20Elisabeth%20Bezerra%20Marques.pdf.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R. (2021). **Infraestruturas Sustentáveis no Brasil: oportunidades para o saneamento e políticas urbanas.** Boletim Regional, Urbano e Ambiental, 25(1), pp. 27-38. disponível em : https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/index.php?option=com_content&view=article&id=38875&Itemid=7

MENDONÇA, E.C., SOUZA, M.A.A. (2019). **A multi-objective and multicriteria methodology for performance evaluation of urban drainage systems.** Ingeniería del agua, 23(2), 89-<https://doi.org/10.4995/ia.2019.10214106>

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** Rio de Janeiro: GEN LTC, 2015. 1 recurso online. ISBN 9788595155695. disponível em: <https://pergamumweb.udesc.br/acervo/5007309>

MOREIRA, K. S.; JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; SOUSA, P. E. de O.; MOREIRA, H. S.; BALIZA, D. P. **The evolution of environmental legislation in the Brazilian historical context. Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e14010212087, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12087>. acesso em: dez. 2024.

PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO,**PLANSAB-** versão 2019 disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab>

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO- Volume V- **PLANO DIRETOR DE DRENAGEM –** Volume complementar da cidade de Curitiba - Volume Complementar, versão Novembro de 2017 disponível em : <https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/plano-municipal-de-saneamento-basico/2958>

PELOTAS, Municipal de. Lei número 1.672 do ano 1968 **I Plano Diretor de Pelotas** regulamentado pela disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/pelotas/lei-ordinaria/1968/168/1672/lei-ordinaria-n-1672-1968-aprova-o-plano-diretor-e-suas-diretrizes-gerais-e-da-outras-providencias>

PELOTAS, Município de. Lei número 5.502 do ano de 2008. **III Plano Diretor de Pelotas** Estabelece diretrizes, III. disponível em: https://www.pelotas.com.br/storage/gestao-da-cidade/lei_5502.pdf acesso em: jan. 2022

PELOTAS, Município de. Lei decreto nº 6.114 de 17 de Setembro de 2018. Institui o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Pelotas/RS, e dá outras providências. disponível em: https://www2.sanep.com.br/sau_sanep/arquivos/7d5f5705bf95cc7fe101bf0c65138ac1.pdf

PELOTAS, Município de. Lei decreto nº 4.417 2002. Estabelece atribuição da drenagem urbana disponível em : <https://camara-municipal-de-pelotas.jusbrasil.com.br/legislacao/499557/decreto-4417-02D>

Prefeitura Municipal DE Pelotas- Geo Pelotas - Portal de Informações Geográfica. disponível em:<https://geopelotaspmpel.hub.arcgis.com/apps/f2fc0413723c42299f1fcdc9cd0b0eff/explore>

Prefeitura Municipal de Porto Alegre **PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA- Manual de Drenagem Urbana Volume VI-** Instituto de Pesquisas Hídricas 2005 p, 28 disponível em : https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf

PELOTAS, Município de . **Relatório da Diretoria de Higiene**, 1916.

PINHEIRO, Cristiane Borda; SANTOS, Roberto Eustaáquio dos; Anais XVIII ENANPUR2019 **Trajetória da drenagem urbana no Brasil: uma perspectiva a partir da análise de políticas públicas recentes de Belo Horizonte.** Disponível em: <http://anpur.org.br/xviiienanpur/anais> acesso em jun. 2023.

PINTO, Jones Vieira **Contribuições para estudo do “Programa Minha Casa, Minha Vida” para uma cidade de porte médio, Pelotas-RS: caracterização das empresas construtoras e incorporadoras privadas e inserção urbana.** 2016 Dissertação de Mestrado Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo UFPEL disponível em: <https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/5224> acesso em set. de 2024.

PISANI, Maria Augusta Justi; MELO, Célia Regina Miranda **A Qualidade de Vida e o Meio Ambiente a partir das Intervenções Urbanas** Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo ISBN - 978-65-86753-40-0 do Simpósio Brasileiro de Cidade Puasafem e a Natureza1 A3 - dezembro 2021 - eixo temático Urbanismo Ecológico e a Resiliência Urbana

RBS TV- Jornal do Almoço **Reportagem Área foi considerada de risco durante enchente de maio/2024** exibida no dia 05/11/2024 . disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/13077635/> acesso em nov. 2024

RBS TV- Jornal RBS Notícias **Reportagem impactos econômicos decorrentes da redução na arrecadação tributária em função das enchentes** exibida em 12 de novembro de 2024, disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/13095061/?s=0s>

REIS, Nestor Goulart. **Notas sobre o urbanismo no Brasil. Primeira parte: período colonial.** Cadernos LAP. Série Urbanização e Urbanismo. São Paulo: FAU/USP, 1995a. disponível em : <https://repositorio.usp.br/item/001021020>

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. In: RIGHETTO, Antônio Marozzi (coord.) **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2009 disponível em : https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/26_Download/TrabalhosCompletosPDF/IX-016.pdf

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. **Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana.** Eng. Sanitária. Ambiental, v.22, n.6, p.1109-1120, 2017. DOI: <http://10.1590/S1413-41522017162357> disponível em: <https://www.scielo.br/j/esaj/a/qYyfFKqt5z7sKVcXW7TmMSq/?format=pdf&lang=pt>

ROCHA, Aristides Almeida. **Histórias do saneamento.** Editora Blucher, 2016. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/historiasdosaneamento/p?srsltid=AfmBOornOaghJUjNwTuXBnNs9lIIHFg8yjGDvITWnKo4Hq93kBnBNQI>. acesso out. 2024

ROLNIK, Raquel. **Periferias, ocupação do espaço da força de trabalho.** São Paulo: FAUUSP - Fundação para Pesquisa Ambiental, 1976. 130p. (Cadernos de Estudo e Pesquisa 2). Cada um no seu lugar! São Paulo, início da industrialização: geografia do poder. São Paulo, 1981. Dissertação de mestrado, FAU/USP. disponível em : <https://repositorio.usp.br/item/000720962>

ROSEN, George. **Uma história da saúde pública.** 2012. 400p.disponível em: <https://biblioteca.ifrj.edu.br/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=23252>

SANTOS, G. R.; KUWAJIMA, J. I.; SANTANA, A. S. (2020). **Regulação e Investimento no Setor de Saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas.** Rio de Janeiro: Ipea. (Texto para Discussão do Ipea, n. 2587). disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2587_subs.pdf

SANTOS, Adriana Rondon de Vasconcellos; CORREA, Ana Cristina Santos Strava; NUNES, Carlos Motta; ARAÚJO, Lígia Maria Nascimento de; COSTA, Maria Elisa Leite. **Desafios da Regulação da Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas no Brasil.** disponível em : <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13599> acesso em fev.2024

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS – Belo Horizonte -Novembro de 2021 disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/jobs.php?Event=142&pNum=2&fPalavra=>

SATHLER, D.; PAIVA, J. C. e BRANT, T. **Cidades e Mudanças Climáticas: iniciativas de planejamento urbano e de governança local nas Regiões Metropolitanas brasileiras.** 2014 In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS: POPULAÇÃO, GOVERNANÇA E BEM-ESTAR, 24 a 28 de novembro. São Pedro, SP disponível em: https://www.academia.edu/73017970/Cidades_e_Mudan%C3%A7as_Clim%C3%A1ticas_iniciativas_de_planejamento_urbano_e_de_governan%C3%A7a_local_nas_Regi%C3%B5es_Metropolitanas_brasideiras

SEABRA, Odette Carvalho de Lima. **Os meandros dos rios nos meandros do poder: Tietê e Pinheiros: valorização dos rios e das Várzeas na cidade de São Paulo.** 2021. disponível em: <https://pt.scribd.com/read/521539314/Os-meandros-dos-rios-nos-meandros-do-poder-Tiete-e-Pinheiros-valorizacao-dos-rios-e-das-varzeas-na-Cidade-de-Sao-Paulo#>. acesso em: fev. 2023

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico.** 24. ed. São Paulo: Cortez, 2018. 320 p. disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5562413/mod_resource/content/1/Metodologia-Do-Trabalho-Cientifico-23%C2%AA-Edicao-Severino-EBOOK-Escrito.pdf

SILVA, Juliana . Gadret. e POLIDORI, Mauricio. Couto . **Evolução urbana e parcelamento do solo em Pelotas, RS.** Pelotas: UFPel - FAUrb. 2004. disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/75450>

SERVIÇO AUTÔNOMOS DE SANEAMENTO DE PELOTAS (SANEP)
Disponível em: <https://portal.sanep.com.br/> acesso em: mar. 2024.

SOHN, W.; KIM, J.; LI, M.; BROWNC, R. 2019. **The influence of climate on the effectiveness of low impact development: A systematic review.** Journal of Environmental Management, 236, p.365–379. disponível em: https://studentenergy.org/influencer/climate-change/?gad_source=1&qclid=Cj0KCQiAx9q6BhCDARIsACwUxu4vD9RKzeWc7PAUx15khkikL88KBAcLRChDUBr4kxfqKN8wy56j7waAqddEALw_wCB

SOARES, P. R. R. **MODERNIDADE URBANA E DOMINAÇÃO DA NATUREZA: O SANEAMENTO DE PELOTAS NAS PRIMEIRAS DÉCADAS DO SÉCULO XX.** História em Revista, v. 7, n. 7, 7 ago. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/HistRev/article/view/11889> acesso em dez. de 2023

PELOTAS município de - **Manuel de Drenagem Urbana Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas**, ,p 3 disponível em: https://www2.sanep.com.br//sau_sanep/arquivos/f28e5800955e95d32b5ceaa2ee66a059.pdf acesso em ago 2024 .

SILVA, C. S. **Inundações em Pelotas/RS:** O uso de geoprocessamento no planejamento paisagístico e ambiental. 2007. 196 p. Dissertação (Mestrado programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/89718> acesso em: jun. de 2022.

SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de Formulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V.10 p.5-23, 2005. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=29&SUMARIO=896>. Acesso em: nov. 2024.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – **SNIS-AP. (2023). Diagnóstico Temático: Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. Brasília.** Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snisd/produutos-snisd/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AP_SNIS_2023.pdf acesso em nov.2024

SOUZA, V.C.B. (2013). **Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), 58-072. Gesta, v.1, n.1 – Souza, p. 057-072, 2013 – ISSN: 2317-563X DOI: <https://doi.org/10.9771/gesta.v1i1.7105> disponível em : <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7105>

TABORDA, Roberta . **Ordenanças Urbanas E Ideia De Cidade: O Primeiro E O Segundo Plano Diretor De Pelotas E Os Temas De Urbanismo Do Século XX.** 2012 Dissertação de Mestrado UFPEL disponível em :nhttps://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UFPL_bda1a48d710fdef4b836362f2eb654f8

TASCHNER, Suzana Pastemack. **Política Habitacional no Brasil: retrospectivas e perspectivas.** São Paulo: FAUUSP , 1997. 73 p. (Cadernos do LAP, 21, Série Habitação Popular).d ISPONÍVEL EM : <https://repositorio.usp.br/item/001038264> acesso em : ago. 2022

TEIXEIRA,G.S; RODRIGUES, R.S.S; CRISPIM, D.L; FERNANDES, L.L; BITTENCOURT,G.M; **Metodologias para Caracterização e Avaliação de Sistemas de Drenagem urbana:** uma revisão Research, SocietyandDevelopment, v. 9, n. 4, e197943063, 2020 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.3063>

TOCHETTO, D.; FERRAZ, C. O urbanismo de Saturnino de Brito e as ressonâncias provocadas. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, [S. I.], n. 22, p. 84-101, 2016. DOI: 10.11606/issn.1984-4506.v0i22p84-101. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/124548>. Acesso em: jul. 2023

TUCCI, Carlos E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana:** Princípios e concepção. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 2, n. 2, p. 5-12, 1997. disponível em: <http://www.abrh.org.br>.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana.** Brasília: Cepal; Ipea, 2012. (Texto para Discussão, n. 48), disponível em : https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/38004/LCBRSR274_pt.pdf Acesso em dez de 2024.

Universidade Federal de Pelotas- Projeto de pesquisa **Drenagem Sustentável para o Planejamento e Ordenamento Territorial Urbano alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável** disponível em: <https://institucional.ufpel.edu.br/projetos/id/u5982>

Universidade Federal de Pelotas –Agência da Lagoa Mirim - Nota Técnica-Eventos Extremos no RS 11 DE Maio DE 2024 Cenários e Observações Disponível em: <https://agencialagoamirim.com.br/2024/05/eventos-extremos-no-rs-11-de-maio-24-cenarios-e-observacoes/> acesso em nov. 2024

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS, **Métodos de Pesquisa. Rs: Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2009. 120 p. disponível em : <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/52806>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisa Hidráulicas Walter Collischonn; Anderson Ruhoff; Rafael Cabeleira Filho; Rodrigo Paiva; Fernando Fan; Thais Possa; Nota Técnica: **Chuva da cheia de 2024 foi mais volumosa e intensa que a da cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba.** disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/06/Comparacao-2024-e-1941-final.pdf> acesso em nov. 2024

VAN-ECK, N.J., WALTMAN, L. **VOSviewer manual.** Universitat Leiden, 2019. disponível em : https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf

VASCONCELOS, Anaí Floriano. 2020. **Estratégias para o Avanço do Manejo Sustentável de Águas Pluviais Urbanas no Brasil.** 210f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos –SP disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13562>

VASCONCELOS Yumara Lúcia. **Estudos Bibliométricos: Procedimentos Metodológicos e Contribuições..** Revista de Ciências Jurídicas e Empresariais, v. 15, n. 2, p. 211-220, 2014. DOI: 10.17921/2448-2129.2014v15n2p%.p. Disponível em: <https://revistajuridicas.pgsscogna.com.br/juridicas/article/view/307>

VAZ, Lílian Fessler. Contribuição ao estudo da produção e transformação do espaço da habitação popular. **As habitações coletivas no Rio antigo.** Rio de Janeiro, 1985. Dissertação (Mestrado em Ciências). UFRJ/PUR, p. 17. disponível em : https://minerva.ufrj.br/F/?func=direct&doc_number=000079300&local_base=UFR01

VILLAÇA, Flávio. **Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil.** In: DEAK, Csaba e SCHIFFER, Sueli Ramos (org.). O processo de urbanização no Brasil. São Paulo:, 2 ed. São

Paulo: Editora da USP, 2010. p. 169-243 disponível em:https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6011965/mod_resource/content/1/FI%C3%A1vio%20Villa%C3%A7a%20Uma%20contribuicao%20para%20a%20historia%20do%20planejamento%20%20urbano%20no%20Brasil.pdf

XAVIER, Janaina Silva. Saneamento de Pelotas (1871-1915): o patrimônio sob o signo de modernidade e progresso. 2010. 355 f. Dissertação (Mestrado em Memória Social e Patrimônio Cultural) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010. Disponível em : <https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/123456789/1055?show=full>

XAVIER, Sinval Cantarelli. **O Mapeamento geotécnico por meio de Geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras: estudo de caso para Pelotas (RS)**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande, 2010
disponível em: https://ppgeo.furg.br/dissertacoes-e-teses/61-publicacoes-de-2010/328-10108dissertacao-o-mapeamento-geotecnico-por-meio-de_geoprocessamento-como-instrumento-de-auxilio-ao-planejamento-do-uso-e-ocupacao-do-solo-em-cidades-costeiras-estudo-de-caso-para-pelotas-rs-sinval-cantarelli-xavier

ZIRBES, E. R.; BUSKE, D.; LEANDRO, D.; CASTRO, A. S. **Accuracy estimates of land use and land cover classification are associated with the sensitivity of the MAXVER classifier and the holdout subsampling technique on allotments in Pelotas-RS**. Ciência e Natura, [S. I.], v. 46, n. esp. 1, p. e87230, 2024. DOI: 10.5902/2179460X87230. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/87230> . acesso em: nov. 2024.

ZHOU, Q. **A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts**, Water, v. 6, n. 4, p. 976-992. 2 disponível em : <https://www.mdpi.com/2073-4441/6/4/976>

Anexos

ANEXO A- Estudo de Caso 1- São Gonçalo Sub-área Cruzeiro Cenário 2002

TABELA - 1 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Cruzeiro (cenário 2002).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Solo	1	100000	200	100	200	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	100000	200	100	0	200	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	100000	281	97,2	0	8	273	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	4	100000	302	100	0	0	0	302	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	100000	300	99,7	1	0	0	0	299	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	100000	300	100	0	0	0	0	0	300	0	0	0
Telha Reflexiva	7	100000	319	100	0	0	0	0	0	0	319	0	0
S\ D	8	100000	821	100	0	0	0	0	0	0	0	821	0
TOTAL		2793		201	208	273	302	299	300	319	821	2784	
Acurácia				99,5	96,2	100							

TABELA - 2 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Cruzeiro (cenário 2002).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Solo	1	100000	100	82	82	0	0	18	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	100000	100	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	100000	100	97	0	3	97	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	4	100000	100	92	8	0	0	92	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	100000	100	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	100000	100	97	0	0	0	3	0	97	0	0	0
Telha Reflexiva	7	100000	105	100	0	0	0	0	0	0	105	0	0
S\ D	8	100000	125	100	0	0	0	0	0	0	0	0	125
TOTAL		830		90	103	97	113	100	97	105	125	798	
Acurácia				91,1	97,1	100	81,4	100	100	100	100	100	

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO B - Estudo de Caso 1– São Gonçalo - Sub-área Cruzeiro Cenário 2022

TABELA - 3 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Cruzeiro (cenário 2022).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Solo	1	10000	298	97,3	290	0	0	0	0	8	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	297	100	0	297	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	10000	303	97,7	0	7	296	0	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	4	10000	300	100	0	0	300	0	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	260	100	0	0	0	260	0	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	300	100	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0
Telha Reflexiva	7	10000	296	100	0	0	0	0	0	0	296	0	0	0
Aqua Turva	8	10000	300	100	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0
S\D	9	10000	589	100	0	0	0	0	0	0	0	0	589	0
TOTAL		2943		290	304	296	300	260	308	296	300	589	2928	
Acurácia				100	97,7	100	100	100	97,4	100	100	100	100	

TABELA - 4Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Cruzeiro (cenário 2022).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Solo	1	10000	101	100	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	100	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	10000	100	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	4	10000	100	91	9	0	0	91	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	100	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	100	100	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
Telha Reflexiva	7	10000	101	100	0	0	0	0	0	0	101	0	0	0
Aqua Turva	8	10000	100	99	0	0	1	0	0	0	0	99	0	0
S\D	9	10000	121	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121
TOTAL		923		110	101	91	100	100	101	99	121	913		
Acurácia				92	100	99	100							

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO C-

Estudo de Caso 1– São Gonçalo - Sub-área Umuarama Cenário 2002

TABELA - 5 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Umuarama (cenário 2002).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Solo	1	10000	296	100	296	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	300	100	300	0	0	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	3	10000	307	99,3	0	0	305	0	2	0	0	0	0
Telha Cerâmica	4	10000	301	100	0	0	0	301	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	5	10000	320	99,1	1	0	2	0	317	0	0	0	0
Telha Reflexiva	6	10000	294	99,3	1	0	1	0	0	292	0	0	0
Arbórea	7	10000	309	98,7	1	3	0	0	0	0	305	0	0
S\ID	8	10000	725	100	0	0	0	0	0	0	0	725	0
TOTAL		2852		299	303	308	301	319	292	305	725	2841	
Acurácia				99	99	99	100	99	100	99	100	100	100

TABELA - 6 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Umuarama (cenário 2002).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Solo	1	10000	102	100	102	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	96	100	0	96	0	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	3	10000	95	83,2	7	0	79	0	9	0	0	0	0
Telha Cerâmica	4	10000	100	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	5	10000	101	89	10	1	0	0	90	0	0	0	0
Telha Reflexiva	6	10000	101	96	1	0	0	0	3	97	0	0	0
Arbórea	7	10000	100	91	1	8	0	0	0	0	91	0	0
S\ID	8	10000	184	100	0	0	0	0	0	0	0	184	0
TOTAL		879		121	105	79	100	102	97	91	184	839	
Acurácia				84,3	91,4	100	100	88,2	100	100	100	100	100

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO D- Estudo de Caso 1– São Gonçalo - Sub-área Umuarama Cenário 2022

TABELA - 7 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Umuarama (cenário 2022).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Solo	1	10000	301	100	301	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	301	100	0	301	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	10000	323	99,7	0	0	322	0	1	0	0	0	0	0
Pavimentos	4	10000	303	92,4	0	0	0	280	0	0	20	3	0	0
Agua Turva	4	10000	280	100	0	0	0	280	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	302	100	0	0	0	0	0	302	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	298	99	0	0	0	3	0	0	295	0	0	0
Telha Reflexiva	7	10000	302	99,7	0	0	0	1	3	0	0	301	0	0
S\ D	8	10000	682	100	0	0	0	0	0	0	0	0	682	0
TOTAL		3092		301	301	322	284	281	302	315	304	682	3064	
Acurácia				100	100	100	98,6	99,6	100	93,7	99	100		

TABELA - 8 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Umuarama (cenário 2022).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Solo	1	10000	100	89	89	0	0	0	0	11	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	100	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	10000	100	91	0	0	91	0	9	0	0	0	0	0
Pavimentos	3	10000	103	83	0	0	0	85	0	0	18	0	0	0
Agua Turva	4	10000	100	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	101	100	0	0	0	0	0	101	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	101	100	0	0	0	0	0	0	101	0	0	0
Telha Reflexiva	7	10000	118	100	0	0	0	0	0	0	0	118	0	0
S\ D	8	10000	160	100	0	0	0	0	0	0	0	0	160	0
TOTAL		983		89	100	91	85	109	112	119	118	160	945	
Acurácia				100	100	100	100	91,7	90,2	84,9	100	100	100	

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO E - Estudo de Caso 2– B. Quartier - Cenário 2002

TABELA - 9 Matriz de dados correlacionais da análise estatística Sub-área B: Quartier (cenário 2002).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Arbusto-Arvore	1	10000	1226	98,8	1211	15	0	0	0	0	0	0	0
Pastagem Gramíneas	2	10000	1036	100	0	1036	0	0	0	0	0	0	0
Solo	3	10000	973	100	0	0	973	0	0	0	0	0	0
Telha Reflexiva	4	10000	520	100	0	0	0	520	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	5	10000	455	66,2	0	0	0	0	301	0	0	0	154
Telha Cerâmica	6	10000	545	100	0	0	0	0	0	545	0	0	0
S/D	7	10000	674	100	0	0	0	0	0	0	674	0	0
Pavimentos	8	10000	454	86,3	0	0	0	0	62	0	0	0	392
TOTAL			50002	10044	1054	672	500	2020	545	674	674	674	50002

ESTABELECE 10 Matriz de dados normais da análise estatística. Sub. Áreas B Quantitativas Sub. Áreas B Quantitativas (Conórios 2000)

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO F - Estudo de Caso 2– B. Quartier - Cenário 2023

TABELA - 11 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área B. Quartier (cenário 2023).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Arbusto-Arvore	1	10000	1266	100	1266	0	0	0	0	0	0	0	0
Pastagem Gramíneas	2	10000	1083	100	0	1083	0	0	0	0	0	0	0
Solo	3	10000	1040	100	0	0	1040	0	0	0	0	0	0
Telha Reflexiva	4	10000	1016	97,4	0	0	0	990	0	0	0	26	0
Telha -Fibrocimento	5	10000	1084	100	0	0	0	0	1184	0	0	0	0
Telha Cerâmica	6	10000	1042	100	0	0	0	0	0	1042	0	0	0
S /D	7	10000	1240	98,3	0	0	0	21	0	0	1219	0	0
Pavimentos	8	10000	618	100	0	0	0	0	0	0	0	618	0
TOTAL			8489		1266	1083	1040	1011	1084	1042	1245	618	8442
	Acurácia				100	100	100	97,9	100	100	97,9	100	

TABELA – 12 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área B. Quartier (cenário 2023).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Arbusto-Arvore	1	10000	243	988,8	240	0	0	0	3	0	0	0	0
Pastagem Gramíneas	2	10000	218	97,7	5	213	0	0	0	0	0	0	0
Solo	3	10000	389	100	0	0	389	0	0	0	0	0	0
Telha Reflexiva	4	10000	209	100	0	0	0	209	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	5	10000	222	77,5	0	0	0	0	172	0	50	0	0
Telha Cerâmica	6	10000	214	100	0	0	0	0	0	214	0	0	0
S /D	7	10000	314	97,5	0	0	0	0	8	0	306	0	0
Pavimentos	8	10000	167	100	0	0	0	0	0	0	0	167	0
TOTAL			1976		245	213	389	209	183	214	356	167	1910
	Acurácia				98,0	100	100	94,0	100	94,0	100	86,0	100

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO G - Estudo de Caso 3– B. Cidade Alta - Cenário 2002

TABELA - 13 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área C.Alta (cenário 2002).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	Σ
Pastagem-Gramíneas	1	10000	150	100	150	0	0	0	0	0	0	0
Solo	2	10000	150	100	0	150	0	0	0	0	0	0
Telha Reflexiva	3	10000	43	100	0	0	43	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	4	10000	145	100	0	0	0	145	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	131	97,7	0	3	0	0	128	0	0	0
Arbustos arvores	6	10000	170	100	0	0	0	0	0	170	0	0
S/D	7	10000	429	100	0	0	0	0	0	0	429	0
TOTAL			1218		150	153	43	145	128	170	429	1215
Acurácia					100	98	100	100	100	100	100	100

TABELA - 14Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área C.Alta (cenário 2002).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	Σ
Pastagem-Gramíneas	1	10000	750	100	750	0	0	0	0	0	0	0
Solo	2	10000	807	98,5	0	795	0	0	12	0	0	0
Telha Reflexiva	3	10000	134	100	0	0	134	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	4	10000	334	98,5	5	0	0	329	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	47	100	0	0	0	0	47	0	0	0
Arbustos arvores	6	10000	85	100	0	0	0	0	0	85	0	0
S/D	7	10000	67	100	0	0	0	0	0	0	67	0
TOTAL			2224		755	795	134	329	59	85	67	2207
Acurácia					99,3	100	100	79,7	100	100	100	100

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO H - Estudo de Caso 3– B. Cidade Alta - Cenário 2023

TABELA - 15 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área C.Alta (cenário 2023).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Arbustos arvores	1	10000	1057	99,9	1056	1	0	0	0	0	0	0	0
Pastagem-Gramíneas	2	10000	799	100	0	799	0	0	0	0	0	0	0
Solo	3	10000	914	100	0	0	914	0	0	0	0	0	0
Telha Reflexiva	4	10000	866	93,0	5	0	0	805	9	52	0	0	0
Telha -Fibrocimento	5	10000	893	90,7	0	0	0	52	841	0	0	0	0
Telha Cerâmica	6	10000	902	100	0	0	0	84	0	818	0	0	0
Pavimento	7	10000	952	100	0	0	0	0	0	0	952	0	0
S/D	8	10000	510	100	0	0	0	0	0	0	0	510	510
TOTAL			6893		1056	800	914	941	850	870	952	510	6695
Acurácia					100	99,9	100	85,5	98,9	94,0	100	100	100

TABELA - 16 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área C.Alta (cenário 2023).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Arbustos arvores	1	10000	183	100	183	0	0	0	0	0	0	0	0
Pastagem-Gramíneas	2	10000	172	98,5	0	172	0	0	12	0	0	0	0
Solo	3	10000	179	100	0	0	163	0	0	0	0	16	0
Telha Reflexiva	4	10000	161	98,5	0	0	0	161	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	5	10000	152	100	0	0	0	0	152	0	0	0	0
Telha Cerâmica	6	10000	186	100	0	0	0	28	0	158	0	0	0
Pavimento	7	10000	174	100	0	0	0	0	0	0	174	0	0
S/D	8	10000	199	100	0	0	0	0	0	0	0	199	199
TOTAL			1406		183	172	163	189	152	158	190	199	1362
Acurácia					100	100	100	85,2	100	100	91,6	100	100

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO I - Estudo de Caso 4– B. Laranjal - Cenário 2010

TABELA - 17 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Amarilis (cenário 2010).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Solo	1	10000	292	100	292	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	300	100	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	10000	342	96,5	0	0	330	8	0	4	0	0	0	0
Agua Turva	4	10000	224	98,7	0	0	0	221	0	3	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	298	99,7	1	0	0	0	297	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	195	97,4	0	0	0	5	0	190	0	0	0	0
Telha Reflexiva	7	10000	251	100	0	0	0	0	0	0	251	0	0	0
Pavimentos	8	10000	264	100	0	0	0	0	0	0	0	264	0	0
S/D	9	10000	752	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	762
TOTAL		2166		293	300	330	234	297	197	251	264	762	2145	
Acurácia				99,7	100	100	94,4	100	96,4	100	100	100	100	

TABELA - 17 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Amarilis (cenário 2010).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Solo	1	10000	94	100	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	101	100	0	101	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	10000	100	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Agua Turva	4	10000	60	88,3	0	0	5	53	0	2	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	100	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	96	100	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0
Telha Reflexiva	7	10000	104	100	0	0	0	0	0	0	104	0	0	0
Pavimentos	8	10000	100	89,0	0	0	0	0	0	10	1	89	0	0
S/D	9	10000	77424	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77424
TOTAL		755		94	101	105	53	100	108	105	89	77424	737	
Acurácia				100	100	95,2	100	100	88,9	99,0	100	100	100	

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO J - Estudo de Caso 4– B. Laranjal - Cenário 2022

TABELA - 18 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Amarilis (cenário 2022).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Solo	1	10000	303	99,7	302	0	0	0	0	1	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	304	100	0	304	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	10000	316	100	0	0	316	0	0	0	0	0	0
Agua Turva	4	10000	308	89,0	0	0	0	274	34	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	300	92,7	1	0	0	21	278	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	318	100	0	0	0	0	0	318	0	0	0
Telha Reflexiva	7	10000	294	98,0	0	0	0	0	6	0	288	0	0
Pavimentos	8	10000	630	100	0	0	0	0	0	0	0	630	0
TOTAL			2143		303	304	316	295	318	319	288	630	2080
Acurácia					99,7	100	100	92,9	87,4	99,7	100	100	100

TABELA - 19 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Amarilis (cenário 2022).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Solo	1	10000	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg. Campestre	2	10000	100	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	3	10000	101	100	0	0	101	0	0	0	0	0	0
AguaTurva	4	10000	100	56,0	0	0	0	56	44	0	0	0	0
Telha Cerâmica	5	10000	100	80,0	0	0	0	20	80	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	101	100	0	0	0	0	0	101	0	0	0
Telha Reflexiva	7	10000	101	99,0	0	0	0	0	1	0	100	0	0
Pavimentos	8	10000	138	100	0	0	0	0	0	0	0	0	138
TOTAL			703		100	100	101	76	125	101	100	138	638
Acurácia					100	100	100	73,7	64,0	100	100	100	100

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO K - Estudo de Caso 4– B. Laranjal - Cenário 2010

TABELA - 20 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Veredas Alphaville (cenário 2010).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Agua Turva	1	10000	247	90,3	223	0	0	3	0	0	21	0	0	0
Solo	2	10000	305	99,3	0	303	0	0	0	2	0	0	0	0
Veg- Campestre	3	10000	241	100	0	0	241	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	4	10000	322	98,1	6	0	0	316	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	5	10000	300	100	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	6	10000	322	100	0	0	0	0	0	322	0	0	0	0
Telha - Fibrocimento	7	10000	302	93,7	18	0	0	0	1	0	283	0	0	0
Telha Reflexiva	8	10000	301	99,7	0	0	0	0	1	0	0	300	0	0
S/D	9	10000	503	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	503
TOTAL			2340	247	303	241	319	302	324	304	300	503	2791	
Acurácia				90,3	100	100	99,1	99,3	99,4	93,1	100	100	100	

TABELA - 21 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Veredas Alphaville (cenário 2010).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Agua Turva	1	10000	60	80	48	0	0	0	0	0	12	0	0	0
Solo	2	10000	100	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Veg- Campestre	3	10000	100	100	0	0	100	0	1	0	0	0	0	0
Arbórea	4	10000	100	97,0	3	0	0	97	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	5	10000	98	98	0	0	0	96	0	2	0	0	0	0
Telha Cerâmica	6	10000	101	100	0	0	0	0	101	0	0	0	0	0
Telha - Fibrocimento	7	10000	104	96,2	4	0	0	0	0	100	0	0	0	0
Telha Reflexiva	8	10000	100	97,0	0	0	0	3	0	0	97	0	0	0
S/D	9	10000	108	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108
TOTAL			763	55	100	100	97	99	101	114	97	108	739	
Acurácia				87,3	100	100	97,0	100	87,7	100	100	100	100	

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO L - Estudo de Caso 4– B. Laranjal - Cenário 2022

TABELA - 22 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Veredas Alphaville (cenário 2022).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Agua Turva	1	10000	255	83,5	213	0	0	0	0	0	0	40	2	0
Solo	2	10000	300	100	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0
Pavimentos	3	10000	299	100	0	0	299	0	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	4	10000	296	100	0	0	0	296	0	0	0	0	0	0
Telha Reflexiva	5	10000	221	100	0	0	0	0	221	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	288	92,4	0	0	22	0	0	266	0	0	0	0
Arbórea	7	10000	324	92,3	12	0	0	0	0	0	299	0	0	0
Veg- Campestre	8	10000	321	97,5	8	0	0	0	0	0	0	313	0	0
S/D	9	10000	422	100	0	0	0	296	0	0	0	0	0	422
TOTAL		2304		233	300	321	296	221	266	339	328	422	2207	
Acurácia				91,4	100	93,1	100	100	100	88,2	95,4	100		

TABELA - 23 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área Veredas Alphaville (cenário 2022).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Agua Turva	1	10000	80	100	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solo	2	10000	100	95,0	0	95	0	0	0	5	0	0	0	0
Pavimentos	3	10000	101	100	0	0	101	0	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	4	10000	100	100	0	0	0	100	0	0	0	0	3	0
Telha Reflexiva	5	10000	99	100	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	6	10000	100	89,0	0	0	11	0	0	89	0	0	0	0
Arbórea	7	10000	101	63,4	18	0	0	0	0	0	64	19	0	0
Veg- Campestre	8	10000	104	100	0	0	0	0	0	0	0	104	0	0
S/D	9	10000	110	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110
TOTAL		785		98	95	112	100	99	94	64	123	110	732	
Acurácia				81,6	100	90,2	100	100	94,7	100	84,6	100		

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO M - Estudo de Caso 5– B. Moradas e Liberdade - Cenário 2011

TABELA - 24 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área. B. Moradas e Liberdade (cenário 2011).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	Σ
S/D	1	10000	465	100	465	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	2	10000	621	98,2	0	610	0	2	0	9	0	0
Telha Cerâmica	3	10000	338	96,7	0	0	327	0	0	0	0	11
Telha -Fibrocimento	4	10000	396	99,5	0	2	0	394	0	0	0	0
Telha -Reflexiva	5	10000	571	100	0	0	0	0	571	0	0	0
Pastagem-Gramínea	6	10000	344	98,5	0	5	0	0	0	339	0	0
Solo Exposto	7	10000	221	98,5	0	0	4	3	0	0	217	0
TOTAL			2956		465	617	331	396	571	348	228	2923
Acurácia					100	98,9	98,8	99,5	100	97,4	95,2	

TABELA - 25 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área B. Moradas e Liberdade (cenário 2011).

Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	Σ
S/D	1	10000	322	100	322	0	0	0	0	0	0	0
Arbórea	2	10000	184	100	0	184	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	3	10000	200	100	0	0	200	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	4	10000	152	100	0	0	0	152	0	0	0	0
Telha -Reflexiva	5	10000	256	100	0	0	0	0	256	0	0	0
Pastagem-Gramínea	6	10000	206	100	0	0	0	0	0	206	0	0
Solo Exposto	7	10000	126	57,9	0	0	0	0	0	0	73	0
TOTAL			1446		322	184	200	152	256	206	73	1393
Acurácia					100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: MultiSpec Application

ANEXO N - Estudo de Caso 5– B. Moradas e Liberdade - Cenário 2023

TABELA - 26 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área B.Moradas e Liberdade (cenário 2023).

S/D	Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Arbórea	1	10000	227	100	227	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	2	10000	640	98,9	0	633	0	7	0	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	3	10000	1026	100	0	0	1026	0	0	0	0	0	0	0
Telha -Reflexiva	4	10000	635	86,8	0	1	0	551	2	0	1	80		
Pastagem-Gramínea	5	10000	890	93,6	0	0	0	57	833	0	0	0	0	0
Solo Exposto	6	10000	822	100	0	0	0	0	0	822	0	0	0	0
Pavimentos	7	10000	615	99,8	0	0	0	1	0	0	614	0	0	0
TOTAL			8	10000	790	94,9	0	0	40	0	0	0	0	750
Acurácia					5645	227	634	1026	656	835	822	615	830	5652

TABELA - 27 Matriz de dados correlação da análise estatísticas Sub-área B.Moradas e Liberdade (cenário 2023).

S/D	Classes	Referência	Pesos	Nº Samples	Acurácia	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Arbórea	1	10000	166	100	166	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Telha Cerâmica	2	10000	226	100	0	226	0	0	0	0	0	0	0	0
Telha -Fibrocimento	3	10000	534	100	0	0	534	0	0	0	0	0	0	0
Telha -Reflexiva	4	10000	232	100	0	0	0	232	0	0	0	0	0	0
Pastagem-Gramínea	5	10000	352	71,9	0	0	0	99	253	0	0	0	0	0
Solo Exposto	6	10000	231	100	0	0	0	0	0	231	0	0	0	0
Pavimentos	7	10000	255	88,6	0	0	0	17	12	0	226	0	0	0
TOTAL			8	10000	316	74,4	0	0	81	0	0	0	0	235
Acurácia					2312	166	226	534	429	265	231	226	235	2103

Fonte: MultiSpec Application

