

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

RAFAEL BUENO

**Análise da eficiência do sistema de drenagem urbana de Porto
Alegre frente aos eventos extremos de chuva**

Porto Alegre
Agosto de 2024

RAFAEL BUENO

**Análise da eficiência do sistema de drenagem urbana de Porto
Alegre frente aos eventos extremos de chuva**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Comissão de
Graduação do curso de Engenharia Civil da Escola de
Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil

Orientador: Gino Roberto Gehling

Porto Alegre
Agosto de 2024

CIP - Catalogação na Publicação

Bueno, Rafael
Análise da eficiência do sistema de drenagem urbana
de Porto Alegre frente aos eventos extremos de chuva /
Rafael Bueno. -- 2024.
87 f.
Orientador: Gino Gehling.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre,
BR-RS, 2024.

1. Drenagem Urbana. 2. Resíduos Sólidos. 3. Bocas
de Lobo. 4. Armadilha. 5. Alagamentos. I. Gehling,
Gino, orient. II. Título.

RAFAEL BUENO

Análise da eficiência do sistema de drenagem urbana de Porto Alegre frente aos eventos extremos de chuva

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 23 de agosto de 2024

BANCA EXAMINADORA

Bruno Ciria Saul

Me. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Alisson Sauer da Silva (DMAE)

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)

Dr. em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya
Orientador

RESUMO

O presente trabalho aborda a problemática dos alagamentos em Porto Alegre, com foco na análise da eficiência do sistema de drenagem urbana frente a eventos climáticos extremos. A pesquisa explora as causas e consequências dos alagamentos, destacando a vulnerabilidade da cidade devido à sua topografia, ocupação desordenada do solo e deficiências na infraestrutura de drenagem. O estudo de caso da enchente de maio de 2024 evidencia a necessidade de ações urgentes para aprimorar a resiliência da cidade, incluindo investimentos em infraestrutura, regularização fundiária, controle da impermeabilização do solo e manutenção dos canais. O trabalho também propõe soluções inovadoras, como a instalação de armadilhas para retenção de resíduos sólidos em bocas de lobo, com o objetivo de reduzir obstruções e melhorar o escoamento da água. A pesquisa conclui que a gestão eficiente da drenagem urbana é fundamental para garantir a segurança e a qualidade de vida da população, e destaca a importância da colaboração entre poder público, iniciativa privada e sociedade na busca por soluções sustentáveis para os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Palavras-chave: Drenagem urbana; Alagamentos urbanos; Impactos de eventos climáticos extremos; Vulnerabilidade urbana; Gestão de águas pluviais; Inovações em drenagem urbana.

ABSTRACT

This study approaches the issue of flooding in Porto Alegre, focusing on the analysis of the efficiency of the urban drainage system in the face of extreme weather events. The research explores the causes and consequences of waterlog, highlighting the city's vulnerability due to its topography, disordered land occupation, and deficiencies in drainage infrastructure. The case study of the May 2024 flood highlights the need for urgent action to improve the city's resilience, including investments in infrastructure, land regularization, soil sealing control, and channel maintenance. The paper also proposes innovative solutions, such as the installation of traps for retaining solid waste in storm drains, to reduce blockages and improve water flow. The research concludes that efficient urban drainage management is essential to ensure the safety and quality of life of the population and highlights the importance of collaboration between the government, the private sector, and society in the search for sustainable solutions to the challenges posed by climate change.

Keywords: Urban Drainage; Urban Flooding; Impacts of Extreme Weather Events; Urban Vulnerability; Stormwater Management; Innovations in Urban Drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - População da cidade de Porto Alegre: 1872-2022	18
Figura 2 - Estimativa da geração futura de resíduos destinados às unidades do DMLU, função populacional e da geração <i>per capita</i> nos últimos 10 anos.....	22
Figura 3 - Diagrama destinação dos resíduos sólidos de Porto Alegre.	24
Figura 4 - Estruturas do sistema de drenagem urbana.....	26
Figura 5 - Características dos leitos do rio	28
Figura 6 - Boca de guia simples.	29
Figura 7 - Boca de guia dupla.....	29
Figura 8 - Boca do tipo sarjeta.....	29
Figura 9 - Arroio Dilúvio assoreado.	33
Figura 10 - Arroio Passo das Pedras após alagamento.	34
Figura 11 - Arroio Passinhos obstruído por vegetação e RS.	35
Figura 12 - Arroio Passinhos obstruído por vegetação e RS.	36
Figura 13 - BL gradeada obstruída.	39
Figura 14 - BL do tipo sarjeta obstruída.	39
Figura 15 - BL completamente obstruída.	40
Figura 16 - BL após desobstrução da entrada.....	40
Figura 17 - BL 1 no bairro Alto Petrópolis.....	40
Figura 18 - BL 2 no bairro Alto Petrópolis.....	41
Figura 19 - BL completamente obstruído; e sem a devida limpeza.	42
Figura 20 - BL completamente destruída.	42
Figura 21 - Desenho esquemático de um reservatório de detenção fechado.....	45
Figura 22 - Av. Goethe antes da implantação do reservatório.	46
Figura 23 - Av. Goethe após implantação do reservatório.....	46
Figura 24 - Projeto esquemático do sistema de proteção de enchentes de Porto Alegre.....	47
Figura 25 - Muro da Mauá vista de cima com cota do Guaíba alta.....	48
Figura 26 - Mapa das comportas de Porto Alegre.	50
Figura 27 - Comporta N° 12 colapsada após a enchente de maio de 2024.....	51
Figura 28 - Comporta N° 14 após a enchente de maio de 2024, fechada com bags e com acúmulo de sedimentos.....	51
Figura 29 - Ocorrência de desastres naturais: 2023 comparado a média anual do período de 2003 a 2022.....	53

Figura 30 - Histórico do nível máximo anual do Lago Guaíba, de 1940 até 2024.....	55
Figura 31 - Demarcação da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio.	56
Figura 32 - RS em trecho do Arroio Dilúvio.	57
Figura 33 - RS em trecho do Arroio Dilúvio.	57
Figura 34 - Obra de dragagem do Arroio Dilúvio.	59
Figura 35 - Precipitação total acumulada em maio de 2024, por município.	59
Figura 36 - Previsão da cota do Guaíba divulgada pelo IPH no dia 2 de maio.	61
Figura 37 - Chuva acumulada mensal no ano de 2024 pela estação de controle do INMET no Jardim Botânico de Porto Alegre/RS.	62
Figura 38 - Chuva acumulada diária no mês de maio de 2024 pela estação de controle do INMET no Jardim Botânico de Porto Alegre/RS.	62
Figura 39 - Mapa de inundação em 6 de maio de 2024.....	63
Figura 40 - Zona norte de Porto Alegre completamente alagada, vista por satélite.	64
Figura 41 - Impacto das cheias de maio de 2024 em Porto Alegre	65
Figura 42 - Orçamento do plano de reconstrução proposto pelo Governo Estadual.	66
Figura 43 - Mapa do sistema de drenagem de Porto Alegre durante o período da enchente. ..	68
Figura 44 – Ecobarreira do Arroio Dilúvio vista de cima	71
Figura 45 – Gaiola de içamento da Ecobarreira do Arroio Dilúvio.....	72
Figura 46 - Acumulado anual de materiais retirados pela ecobarreira Dilúvio.	73
Figura 47 - Cardume de tilápia no Arroio Dilúvio.	74
Figura 48 - Vistas frontal e lateral da armadilha de Petrolí.	75
Figura 49 - Barramento superior e inferior da armadilha.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fases do desenvolvimento urbano.....	20
Tabela 2 - Características do resíduo sólido no sistema de drenagem.....	23
Tabela 3 - Componentes do sistema de drenagem urbana.....	27
Tabela 4 - Componentes integrantes do sistema de drenagem de Porto Alegre.....	31
Tabela 5 - EBAP e suas localizações.....	37
Tabela 6 - Reservatórios de amortecimento de Porto Alegre.....	43

LISTA DE SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

BL - Boca de Lobo

CNC - Confederação Nacional do Comércio de Bens, Serviços e Turismo

DEP - Departamento de Esgotos Pluviais

DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgotos

DMLU - Departamento Municipal de Limpeza Urbana

EBAP - Estação de Bombeamento de Águas Pluviais

EM-DAT - The International Disaster Database

ESG - Environmental, Social and Governance

ETA - Estação de Tratamento de Água

ETE - Estação de Tratamento de Esgotos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

MDU - Manual de Drenagem Urbana

PMPA - Prefeitura Municipal de Porto Alegre

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico

RS - Resíduos Sólidos

RSD - Resíduos Sólidos Domiciliares

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SMAMAS - Secretaria Municipal do Meio Ambiente e da Sustentabilidade

SMSUrb - Secretaria Municipal de Serviços Urbanos

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

UTC - Unidade de Triagem e Compostagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo principal	15
1.2.2	Objetivos secundários	15
1.3	METODOLOGIA	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	URBANIZAÇÃO	17
2.2	SISTEMAS HIDRICOS	18
2.3	RESÍDUOS SÓLIDOS	20
2.4	SISTEMAS DE DRENAGEM	24
2.5	ESCOAMENTO PLUVIAL	26
2.6	BOCAS DE LOBO	28
2.6.1	Definição e composição:	28
2.6.2	Função primária:	28
2.6.3	Integração no sistema de drenagem:	29
3	SITUAÇÃO DA DRENAGEM URBANA EM PORTO ALEGRE	30
3.1	INFRAESTRUTURA EXISTENTE	30
3.2	CANAIS	32
3.2.1	Canais assoreados e obstruídos	32
3.2.2	Obstruções por lixo e vegetação:	34
3.2.3	Falta de manutenção e deterioração	36
3.3	ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS (EBAP):	36
3.3.1	Equipamentos antigos e deficientes	38
3.3.2	Consequências do equipamento deficiente:	38
3.4	BOCAS DE LOBO	38
3.4.1	Obstrução das BL	39
3.4.2	Manutenção das BL e seu sistema	41
3.5	RESERVATÓRIOS DE AMORTECIMENTO	43

3.6	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA CHEIAS	46
3.6.1	Muro da Mauá (cortina de proteção)	47
3.6.2	Diques	48
3.6.3	Comportas	49
4	HISTÓRICOS DE INUNDAÇÕES	53
4.1	HISTORICO DE INUNDAÇÕES EM PORTO ALEGRE	54
4.2	ESTUDO DE CASO – ARROIO DILÚVIO.....	56
4.2.1	Histórico e características	57
4.2.2	Problemas de drenagem	58
4.3	ESTUDO DE CASO: ENCHENTE DE MAIO DE 2024 EM PORTO ALEGRE ..	59
4.3.1	Caracterização do evento	60
4.3.2	Impactos da enchente	63
4.3.3	Análise das causas	66
4.3.4	Análise do evento.....	68
5	INOVAÇÕES	70
5.1	ECO BARREIRA DO ARROIO DILUVIO.....	70
5.1.1	O funcionamento da Ecobarreira	71
5.1.2	Resultados da ecobarreira arroio Dilúvio.....	73
5.2	ARMADILHA PARA RESÍDUOS	74
5.2.1	Proposta de lei para implementação em novos empreendimentos	77
6	CONCLUSÃO.....	78
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICE A - Tabela das cotas máximas anuais do Lago Guaíba desde 1940 até 2024.	84
	ANEXO A – Projeto da Armadilha para RS em BL de Petroli (2020)	86

1 INTRODUÇÃO

O eficaz gerenciamento da drenagem urbana emerge como um desafio cada vez mais urgente nas cidades contemporâneas, especialmente diante do aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos.

A cidade de Porto Alegre, assim como muitas outras metrópoles ao redor do mundo, enfrenta dilemas significativos relacionados à infraestrutura de drenagem, cuja inadequação pode resultar em sérios impactos socioeconômicos e ambientais. Porto Alegre é cercada pelo Rio Gravataí, pelo Lago Guaíba e a Lagoa dos Patos, e conforme o Departamento Municipal de água e Esgotos (DMAE, 2024), é composta por 27 arroios, apresentando um desafio singular em termos de drenagem urbana. Cerca de 35% da área urbanizada está até três metros acima do nível do mar, o que favorece inundações e alagamentos, especialmente nas áreas da Zona Norte e Extremo Sul da cidade.

Para lidar com essa complexa realidade, o sistema de drenagem da cidade, de acordo com o DMAE (2024), é composto por aproximadamente 2.750 quilômetros de tubulações de microdrenagem e 450 quilômetros de infraestrutura de macrodrenagem (galerias, canais, valas e arroios). O sistema conta com mais de 42 mil bocas de lobo (BL), cerca de 82 mil poços de visita (PV), 917 grelhas e 52 reservatórios de amortecimento, sendo 5 desses de concreto e fechados. Além disso, há 23 Estações de Bombeamento de Águas Pluviais (EBAP).

Dados estatísticos recentes demonstram uma tendência alarmante de aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e prolongadas, que sobrecarregam os sistemas de drenagem existentes (INPE, 2021). Segundo relatórios do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, entre os anos de 2010 e 2020, houve um aumento de 25% na frequência de eventos extremos de chuva na região Sul do Brasil, incluindo o estado do Rio Grande do Sul. Essa tendência é amplamente atribuída às mudanças climáticas globais, que alteram os padrões de precipitação e intensificam fenômenos meteorológicos extremos.

Em Porto Alegre, especificamente, os efeitos dessas mudanças são evidentes, com episódios de enchentes e alagamentos tornando-se cada vez mais frequentes e graves. Estima-se que, nos últimos anos, mais de 60% da área urbana da cidade foi afetada por alagamentos em pelo menos uma ocasião, causando prejuízos materiais e colocando em risco a segurança e o bem-estar da população (IBGE, 2019).

Diante do atual cenário desafiador, é essencial repensar e fortalecer as estratégias de gestão de águas pluviais em Porto Alegre. Este estudo tem como objetivo investigar não apenas as origens e os efeitos dos problemas de drenagem urbana na cidade, mas também propor soluções inovadoras e sustentáveis para enfrentar esses desafios. Ao fazê-lo, almeja-se contribuir para o desenvolvimento de políticas e práticas mais resilientes e adaptativas, que assegurem a segurança e a qualidade de vida dos cidadãos diante das incertezas climáticas do século XXI.

O presente trabalho busca, sobretudo, enfatizar o sobrecarregamento do sistema de drenagem pluvial de Porto Alegre frente às obstruções das entradas das BL, obstruções da saída das caixas de bocas de lobo para as galerias, devido a detritos, e quanto a obstrução de galerias pluviais por resíduos sólidos (RS). No mesmo caminho, espera-se que, com a construção de uma armadilha em caixa de BL, reduzam-se os impactos dos alagamentos na cidade.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os alagamentos recorrentes em Porto Alegre representam não apenas um incômodo momentâneo, mas sim uma ameaça constante à qualidade de vida, à segurança e ao desenvolvimento sustentável da cidade. Essa justificativa baseia-se em fatos e problemas reais, respaldados por dados específicos e estudos de casos que evidenciam os impactos negativos desses eventos.

Em primeiro lugar, os alagamentos têm impactos significativos na mobilidade urbana e na infraestrutura da cidade. Dados do DMAE indicam que, em média, Porto Alegre enfrenta 17 dias de alagamentos por ano. Esses eventos não apenas interrompem o tráfego de veículos e pedestres, mas também danificam vias públicas, pontes e sistemas de transporte, aumentando os custos de manutenção e reparo.

Do ponto de vista econômico, os alagamentos representam um ônus significativo para a cidade. Empresas são prejudicadas pela interrupção das operações, perdas de estoque e danos à infraestrutura. Além do mais, a reputação de Porto Alegre como um centro de negócios e turismo pode ser afetada negativamente pelos frequentes eventos de alagamento, reduzindo investimentos e oportunidades de crescimento econômico.

Em termos ambientais, os alagamentos contribuem para a degradação dos recursos naturais e ecossistemas urbanos. Áreas alagadas podem levar à contaminação da água e do solo por esgotos e resíduos, afetando a biodiversidade local e comprometendo a qualidade ambiental da cidade.

Em meio ao cenário urbano em constante expansão e às mudanças climáticas cada vez mais presentes, a gestão eficiente da água da chuva se torna crucial para garantir a segurança, o bem-estar da população e a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, o escoamento pluvial surge como um sistema vital, orquestrando o transporte da água da chuva para um destino seguro e sustentável.

1.2 OBJETIVOS

A seguir são descritos o objetivo principal e os objetivos secundários deste trabalho.

1.2.1 Objetivo principal

O presente trabalho tem como seu principal objetivo avaliar a eficiência dos sistemas de drenagem pluvial urbana de Porto Alegre frente aos eventos extremos de chuva.

1.2.2 Objetivos secundários

- Analisar a eficiência do sistema de drenagem urbana de Porto Alegre frente ao evento extremo de chuva de maio de 2024;
- Caracterizar a sobrecarga do sistema de drenagem quanto à entupimentos das entradas das bocas de lobo; obstrução da saída das caixas de BL, devido a detritos; e obstrução de galerias pluviais por RS ou assoreamento;
- Avaliar o potencial da armadilha de resíduos como solução inovadora para reduzir os alagamentos na cidade;
- Propor recomendações para a melhoria da gestão da drenagem urbana em Porto Alegre, considerando as mudanças climáticas e o crescimento da cidade.

1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho de pesquisa adotou uma abordagem metodológica que se caracteriza pela integração de diferentes métodos de investigação, visando a construção de um arcabouço robusto para a análise da problemática da drenagem urbana em Porto Alegre.

A metodologia do trabalho envolve a combinação de pesquisa bibliográfica, análise documental e estudo de caso. A pesquisa bibliográfica explorou conceitos-chave relacionados à drenagem urbana, impactos da urbanização, gestão de resíduos sólidos e escoamento pluvial. A análise documental examinou documentos oficiais, planos municipais e relatórios técnicos para compreender o contexto da drenagem urbana em Porto Alegre. O estudo de caso da enchente de maio de 2024 aprofundou a análise da eficiência do sistema de drenagem frente a eventos climáticos extremos. Adicionalmente, o trabalho investigou soluções inovadoras para o gerenciamento da drenagem urbana, com foco na instalação de armadilhas para retenção de resíduos sólidos em bocas de lobo. A pesquisa buscou integrar diferentes fontes de informação e perspectivas para fornecer uma visão abrangente dos desafios e oportunidades na gestão da drenagem urbana em Porto Alegre.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura relevante para o tema da drenagem urbana, abordando conceitos fundamentais, impactos da urbanização nos sistemas de drenagem, na gestão de resíduos sólidos e, no escoamento pluvial. A revisão bibliográfica busca fornecer um embasamento teórico sólido para a análise da eficiência do sistema de drenagem urbana de Porto Alegre e a proposição de soluções inovadoras para o gerenciamento das águas pluviais na cidade.

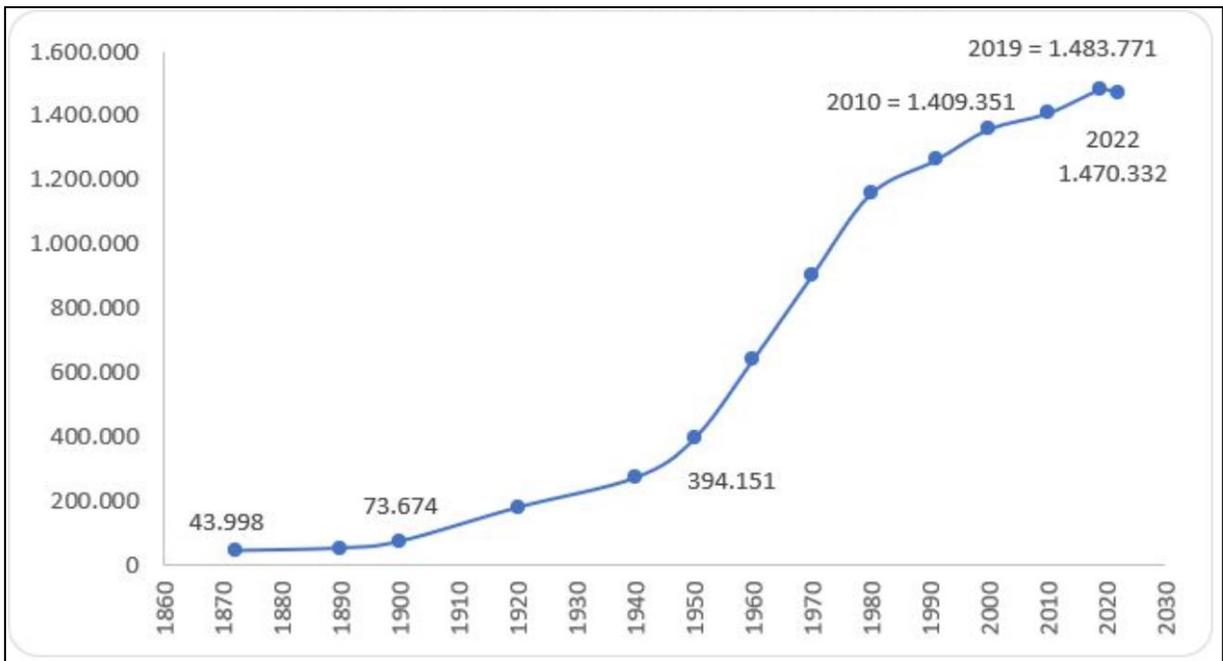
2.1 URBANIZAÇÃO

A urbanização é o processo de crescimento populacional e expansão das cidades, impulsionado principalmente pela migração do campo para a área urbana. Esse fenômeno, estimulado pela industrialização e outros fatores socioeconômicos, transforma o modo de vida das pessoas e o próprio espaço físico, moldando a paisagem urbana (SCHUELER, 1987).

O processo de migração da área rural para as cidades acaba trazendo consigo problemas relacionados a infraestrutura. O principal deles, a grande concentração populacional em pequenas áreas. Tal processo impacta diretamente na forma como o solo recebe as águas das chuvas ao interferir no ciclo da água e no processo natural de drenagem (SNIS, 2022). Essas condições ambientais inadequadas acarretam diretamente em riscos de saúde e diminuem a qualidade de vida da população, ao mesmo tempo em que aumentam os riscos de impactos ambientais e limitam seu desenvolvimento.

A figura 1 apresenta a população de Porto Alegre desde o primeiro censo demográfico do Brasil, datado de 1872, até estimativas populacionais do IBGE para 2019. De acordo com dados mais atualizados, o IBGE registrou no último censo (2022) uma população de 1.332.845 pessoas. Essa população, distribuída na área da unidade territorial de Porto Alegre, a qual corresponde a 495,390km², apresenta uma densidade demográfica de 2.690,5 habitantes por quilômetro quadrado, ou seja, 26,9 habitantes por ha.

Figura 1 - População da cidade de Porto Alegre: 1872-2022



Fonte: IBGE (2022)

A área urbanizada de Porto Alegre, abrangendo 214,91km², exibe um alto grau de desenvolvimento urbano, com 93% dos domicílios possuindo esgotamento sanitário adequado, 82,7% das vias públicas arborizadas e 69,4% com infraestrutura urbana completa (IBGE, 2022). No entanto, a presença de bueiros, calçadas, pavimentação e meio-fio não garante a eficiência do sistema de drenagem em eventos climáticos extremos, como será discutido ao longo deste trabalho.

2.2 SISTEMAS HIDRICOS

Tucci (2005) cita os cinco principais sistemas relacionados com a água no meio ambiente urbano, descritos a seguir:

a) **Mananciais de águas:** São as fontes de água para abastecimento humano. Dentre elas temos os seguintes mananciais:

a.1 **Superficiais:** Consistem em rios próximos as comunidades, cuja disponibilidade de água pode variar sazonalmente. Em alguns casos, a quantidade de água disponível não é suficiente para atender a demanda, sendo necessário construir reservatórios para garantir a disponibilidade hídrica constante.

- a.2 **Subterrâneos:** Aquíferos que armazenam água no subsolo, usada principalmente em cidades de pequeno e médio portes. A extração deve respeitar a capacidade do aquífero para não comprometer seu balanço hídrico.
- b) **Abastecimento de água:** Esse sistema envolve a captação de água dos mananciais, seu transporte para estações de tratamento de água (ETA), onde é tratada e posteriormente distribuída à população por meio de uma rede de distribuição.
- c) **Saneamento de efluentes cloacais:** Trata-se da coleta, transporte, tratamento e despejo de efluentes sanitários provenientes de residências, comércios e indústrias. Os efluentes são encaminhados para Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), onde são tratados antes de serem devolvidos aos corpos hídricos, assegurando que a água retornada esteja em condições seguras para o meio ambiente.
- d) **Controle de drenagem urbana:** Envolve a coleta e gestão da água pluvial e RS que se acumulam nas superfícies urbanas. A drenagem urbana é fundamental para evitar alagamentos e garantir que a água seja tratada adequadamente antes de retornar aos rios.
- e) **Controle das inundações ribeirinhas:** Refere-se à implementação de medidas para proteger a população contra inundações naturais dos rios que ocorrem principalmente em períodos de chuvas intensas. Os rios podem transbordar, ocupando áreas maiores além de seu leito normal. A ocupação irregular dessas áreas pela população aumenta o risco de impactos negativos, tornando o controle e planejamento dessas áreas essenciais para a segurança pública.

Conforme o Manual de Drenagem Urbana (MDU, 2005), uma rede de coleta de água e de RS provenientes da precipitação sobre as superfícies urbanas, assim como o tratamento e o caminho de retorno aos rios é chamada de drenagem urbana.

O gerenciamento das inundações ribeirinhas deve ser capaz de evitar que as inundações naturais venham a atingir a população (SCHUELLER, 1987). Hoje, é sabido que em períodos chuvosos os rios saem de um leito menor e passam a ocupar o chamado leito maior, dentro de um processo natural. Devido a forma irregular da variação de seu leito, a população por sua vez, passa a ocupar o leito maior, ficando à mercê do impacto de inundações.

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS

Dois tipos principais são responsáveis por causar impactos à drenagem urbana, são eles:

- a) os sedimentos naturais, originados da erosão do solo causada pela precipitação e pelo escoamento superficial;
- b) os resíduos antropogênicos, que tem sua origem em atividades humanas (construção civil, descarte inadequado de resíduos e varrição de ruas).

O primeiro tipo é caracterizado por partículas minerais, como areia, silte e argila, enquanto o segundo caracteriza-se por sua ampla variedade de materiais, incluindo plásticos, metais, papéis, borrachas e matéria orgânica. Quando somados esses dois componentes, temos o que é chamado de “sólidos totais” ou “resíduos sólidos” (TUCCI, 2007).

No desenvolvimento urbano, conforme Neves (2008), são observados alguns estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana, que são os seguintes:

Tabela 1 - Fases do desenvolvimento urbano.

Estágio de Desenvolvimento Urbano	Produção de Sedimentos	Fontes de Sedimentos	Impactos Ambientais
Pré-desenvolvimento	Natural	Erosão natural do solo	Mínima interferência nos ecossistemas hídricos
Desenvolvimento inicial	Aumentada	Erosão intensificada pela remoção da cobertura vegetal	Aumento da turbidez da água, assoreamento de rios e lagos, redução da qualidade da água
Desenvolvimento intermediário	Alta	Erosão, obras civis, resíduos sólidos	Intensificação dos impactos do estágio inicial, além de riscos à saúde pública e à navegação
Área desenvolvida	Residual (solo) + Alta (lixo)	Impermeabilização do solo, resíduos urbanos	Impactos crônicos nos ecossistemas hídricos, poluição da água, inundações, comprometimento da biodiversidade

Fonte: elaborada pelo autor

A produção de resíduos é a soma do total coletado nas residências, indústrias e comércio, além do que é recolhido nas ruas e o que chega à drenagem. Assim:

$$TR = Tc + Tl + Tdr \quad (\text{TUCCI, 2005})$$

Onde:

TR é o total (em volume ou em peso) produzido pela sociedade e pelo ambiente;

Tc é o total coletado;

Tl é o total da limpeza urbana;

Tdr é o total que chega na drenagem.

Os dois primeiros volumes podem ser reciclados, diminuindo a quantidade a ser corretamente disposta. Se os sistemas de coleta e limpeza urbana forem ineficientes, o volume de Tdr aumentará, causando problemas tanto para a drenagem quanto para o meio ambiente: a drenagem pode ser obstruída, e o meio ambiente pode sofrer degradação.

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2016), infere que uma projeção simplificada da futura geração de resíduos em Porto Alegre pode ser obtida ao combinar a estimativa de crescimento populacional com a taxa de aumento da geração de resíduos sólidos por pessoa nos últimos 10 anos. De acordo com isso, o levantamento apresentado pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) em 2015 é apresentado na figura abaixo.

Figura 2 - Estimativa da geração futura de resíduos destinados às unidades do DMLU, função populacional e da geração *per capita* nos últimos 10 anos.

Ano	2010		2020	2025	2035
População (hab)	1.409.351		1.409.939	1.467.197	1.480.868
Tipo de Resíduo	Geração per capita [kg/ha-b.d] em 2010	Geração (t/dia) em 2010	Geração (t/dia) em 2020	Geração (t/dia) em 2025	Geração (t/dia) em 2035
Domiciliar Regular	0,694		1.431,99	1649,46	2085,55
Resíduos sólidos de serviços de saúde do Grupo D	0,013		23,58	25,95	30,58
Público (capina, varrição, podas etc.)	0,351		851,33	1.035,50	1.410,21
Madeira	0,006		9,28	10,06	11,57
Rejeito de reciclagem	0,012		57,86	77,08	116,66
Seletivo	0,052		116,52	136,80	177,74
Suinocultura	0,007		14,53	17,07	22,19
Subtotal RSD ¹	0,746		1.489,85	1.726,54	2.202,21
Subtotal RSU ²	1,135		2.805,13	3.341,25	4.422,40
Caliça	0,170		327,03	393,62	528,83
Cobertura (solos em geral)	0,331		506,24	539,57	576,51

¹ RSD: Resíduos sólidos domiciliares (domiciliar regular + seletivo coletado pelo DMLU); ² RSU: resíduos sólidos urbanos (todos, exceto cobertura e caliça).

Fonte: DMLU (2015) apud PMSB (2016)

A quantidade de RS que chega à drenagem depende da eficiência dos serviços urbanos e de vários fatores, como a frequência e abrangência da coleta de lixo, a regularidade da limpeza das ruas, as práticas de reciclagem, a maneira como a população descarta os resíduos e a frequência das chuvas.

Um estudo realizado por Neves (2008) em Porto Alegre, apontou que há uma forte tendência de retenção de RS no sistema de drenagem. O experimento observou que a quantidade de resíduos que fica contida no sistema é três vezes superior a quantidade de resíduos que sai a jusante da bacia, conforme mostra a figura abaixo.

Tabela 2 - Características do resíduo sólido no sistema de drenagem.

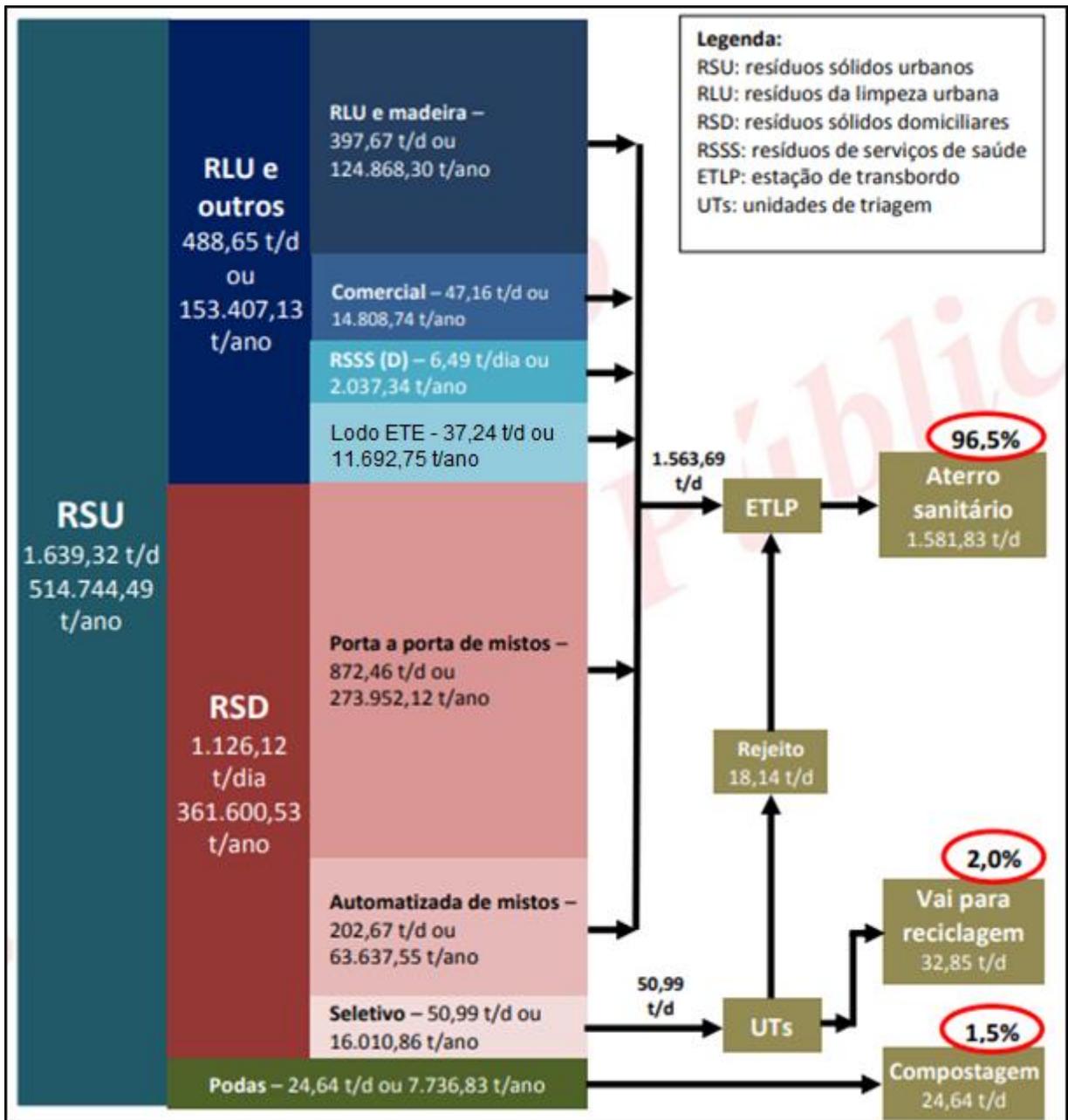
Tipo	Entrada na drenagem (%total¹)	Saída da detenção (%total)
Plásticos, PET e Polipropileno	42,1	81,77
Papel	39,1	0,76
Tecidos, sapatos etc.	2,6	9,97
Vidros	5,4	2
Latas	6,5	2,25
Outros	4,3	3,25

1 - Estimado de amostras de varrição

Fonte: adaptado de Neves (2008)

De acordo com o diagrama apresentado na figura a seguir, é possível compreender o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) em Porto Alegre, desde a geração até a destinação final.

Figura 3 - Diagrama destinação dos resíduos sólidos de Porto Alegre.



Fonte: DMLU (2021)

2.4 SISTEMAS DE DRENAGEM

Os sistemas de drenagem urbana, conforme descrito no MDU (2005), são infraestruturas essenciais para o gerenciamento das águas pluviais em áreas urbanizadas. Sua função primordial é coletar, conduzir e dispor adequadamente a água proveniente das chuvas, minimizando os riscos de inundações, erosão e demais impactos socioambientais decorrentes do escoamento superficial.

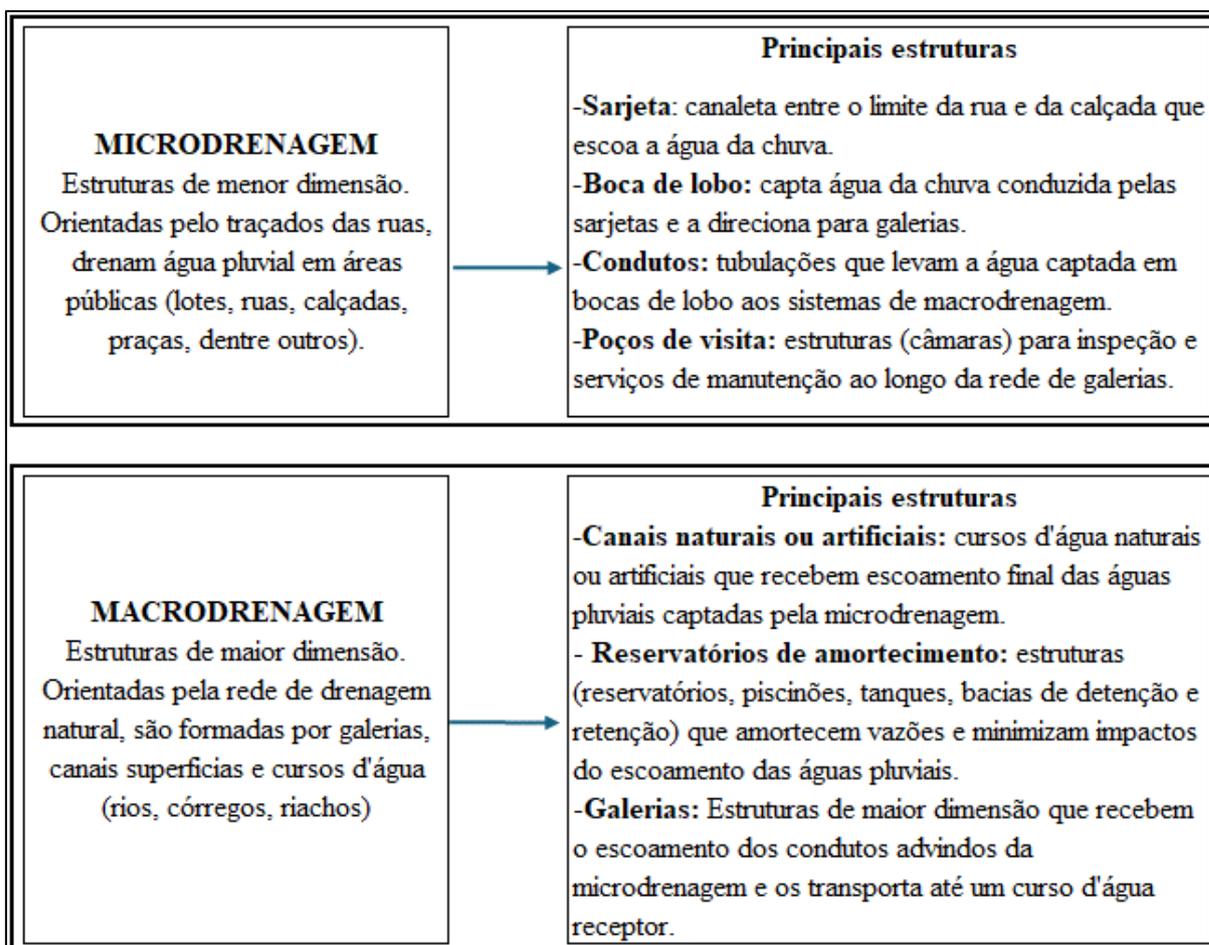
O MDU (2005) ainda fornece uma classificação hierárquica dos sistemas de drenagem em ambientes urbanos, a qual segue:

- a) **Drenagem na fonte:** representa a primeira linha de defesa, atuando diretamente na origem do escoamento, em áreas como lotes, estacionamentos e parques;
- b) **Microdrenagem:** abrange a rede de condutos e canais que drenam áreas maiores, como loteamentos e bairros, sendo projetada para lidar com precipitações de intensidade moderada;
- c) **Macro drenagem:** compreende os grandes sistemas coletores, responsáveis por receber as águas de diversas microbacias e conduzi-las a um destino, como rios ou oceanos.

Essa classificação hierárquica ressalta a importância de uma abordagem integrada e multidisciplinar no planejamento e gestão da drenagem urbana, considerando as particularidades de cada nível e a interação entre eles. Adicionalmente, o manual destaca que a delimitação precisa entre micro e macrodrenagem pode variar em função das características específicas de cada área urbana, como a densidade populacional, a topografia e o uso do solo.

Além da classificação conforme o MDU (2005), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) exemplifica as principais estruturas dos sistemas de drenagem urbanas, conforme segue na figura 4.

Figura 4 - Estruturas do sistema de drenagem urbana.



Fonte: adaptado de SNIS (2022)

2.5 ESCOAMENTO PLUVIAL

O escoamento pluvial é também conhecido como drenagem urbana. Trata-se de um sistema crucial para o manejo adequado da água da chuva em áreas urbanas e rurais. Possui como sua principal função coletar, transportar e direcionar a água proveniente das precipitações para um destino específico, evitando alagamentos, inundações e outros transtornos. Esse sistema é composto por alguns componentes, apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Componentes do sistema de drenagem urbana.

Componente	Descrição	Função Principal
Canais	Canais a céu aberto	Conduzir a água da chuva pelas ruas, calçadas e áreas pavimentadas.
Tubulações	Tubos subterrâneos	Transportar a água da chuva coletada pelas BL para um destino
Poços de Visita	Aberturas estratégicas	Permitir o acesso ao sistema de tubulações para inspeção, limpeza e manutenção. Além de serem os pontos onde ocorrem a mudança de declividade ou direção das tubulações.
Reservatórios	Estruturas de armazenamento	Armazenar a água da chuva coletada para diversos fins.
Áreas permeáveis	Áreas de infiltração	Permitir a infiltração da água da chuva no solo.

Fonte: elaborada pelo autor

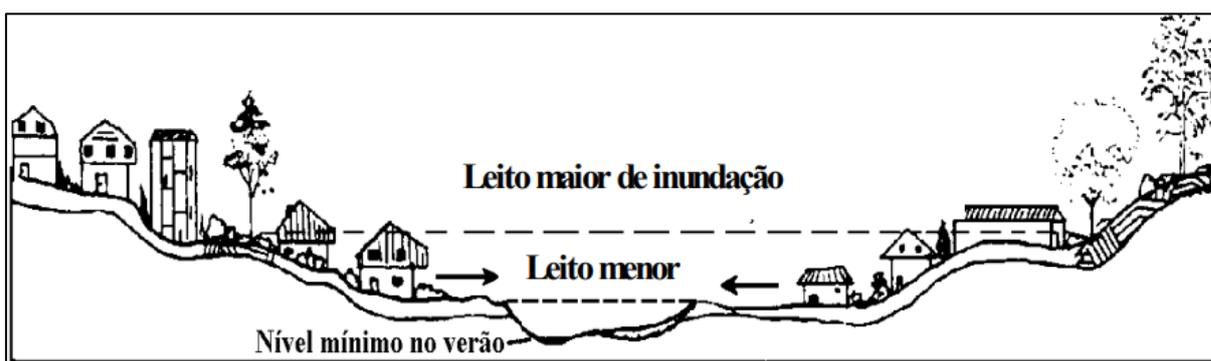
Segundo Tucci (2005), o desenvolvimento urbano é, se não o principal, um dos principais motivos pelos quais a drenagem pluvial urbana apresenta problemas tanto internos aos municípios, como os externos, que são tratados aqui como a exportação de poluição e inundações dos trechos dos rios a jusante das cidades.

Ainda de acordo com o autor, o escoamento pluvial pode resultar em inundações e impactos nas áreas urbanas através de dois processos principais, que podem ocorrer de forma isolada ou combinada:

- a) **Inundações de áreas ribeirinhas:** Essas são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios. Elas são causadas pelas variabilidades temporais e espaciais da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica. Durante períodos de chuvas intensas, os rios podem transbordar, ocupando áreas além do seu leito normal, o que pode afetar as comunidades localizadas próximas às margens dos rios;
- b) **Inundações decorrentes da urbanização:** Essas são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios. Elas são causadas pelas variabilidades temporais e espaciais da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica. Durante períodos de chuvas intensas, os rios podem transbordar, ocupando áreas além do seu leito normal, o que pode afetar as comunidades localizadas próximas às margens dos rios.

Quando se trata das inundações de áreas ribeirinhas, devemos lembrar que os rios geralmente possuem dois leitos, o menor e o maior. O primeiro deles compreende a parte do rio onde a água escoar na maior parte do tempo. O outro, é identificado por uma cota maior e escoar a água apenas com a subida do nível do rio. A inundação do leito maior, a qual é um processo natural conforme o ciclo hidrológico das águas, se torna um problema quando este é ocupado pela população (figura 5).

Figura 5 - Características dos leitos do rio



Fonte: TUCCI (2005)

2.6 BOCAS DE LOBO

Em meio à complexidade da infraestrutura urbana, as BL emergem como um componente discreto, porém essencial para a manutenção da cidade. Posicionadas estrategicamente nas sarjetas, essas estruturas desempenham um papel fundamental no sistema de drenagem pluvial, mitigando os riscos de alagamentos e outros problemas decorrentes do acúmulo de água.

2.6.1 Definição e composição:

Uma BL consiste em uma abertura no sistema de drenagem, tipicamente localizada nas sarjetas das vias públicas. Sua composição pode incluir uma grade, projetada para impedir a entrada de detritos de maior porte, como folhas e RS, e um duto que direciona a água coletada para a rede subterrânea de escoamento.

2.6.2 Função primária:

A função primordial das BL é a captação da água pluvial que escoar pelas ruas e calçadas, prevenindo o acúmulo excessivo que poderia levar ao alagamento das vias. Além disso, essa

estrutura contribui para a prevenção da erosão do solo e da contaminação de cursos d'água, retendo RS que poderiam ser arrastados pela água (DEP, 2020).

2.6.3 Integração no sistema de drenagem:

As BL constituem um elemento integral do sistema de drenagem urbana. Elas atuam como pontos de coleta da água pluvial, direcionando-a para a rede subterrânea de galerias pluviais que as conduzem para rios, reservatórios ou outras áreas de escoamento adequadas. Essa rede de drenagem desempenha um papel crucial na prevenção de inundações, na proteção da infraestrutura da cidade e na garantia da segurança e bem-estar da população.

As BL devem ser localizadas de maneira a conduzirem, adequadamente, as vazões superficiais para a rede de condutos. Nos pontos mais baixos do sistema viário, deverão ser, necessariamente, colocadas BL com vistas a evitar a criação de zonas mortas com alagamentos e águas paradas.

Em síntese, as BL, apesar de sua simplicidade aparente, são vitais para o funcionamento das cidades. Elas operam como sentinelas discretas, protegendo a área urbana dos efeitos adversos das precipitações e assegurando a fluidez do tráfego e a segurança dos cidadãos.

Exemplos de BL são mostrados pelas figuras que seguem:

Figura 6 - Boca de guia simples.



Fonte: autor (2024)

Figura 7 - Boca de guia dupla.



Fonte: autor (2024)

Figura 8 - Boca do tipo sarjeta.



Fonte: autor (2024)

3 SITUAÇÃO DA DRENAGEM URBANA EM PORTO ALEGRE

O sistema de drenagem pluvial de Porto Alegre, de acordo com Menegat (2006), foi projetado levando em conta um TR (tempo de retorno) de 5 anos. Ele escoar as águas da chuva (cuja precipitação mensal média é de 110mm) das regiões altas e baixas.

Nas regiões altas (altitude acima de 5m), o escoamento é realizado através da macrodrenagem, com o uso de condutos forçados que desaguam direto no Lago Guaíba. Já nas áreas baixas, a rede pluvial recolhe as águas através das BL e conduz elas através de galerias até as EBAP. No entanto, quando há a ocorrência de eventos extremos de precipitação, superando a capacidade do sistema, ocorrem alagamentos. Estes também ocorrem, e com frequência, quando as BL ou os tubos de saída das caixas estão obstruídos.

3.1 INFRAESTRUTURA EXISTENTE

Este capítulo busca exemplificar o sistema existente e a situação da drenagem urbana em Porto Alegre. A tabela a seguir é um resumo do que consta no sistema de Porto Alegre.

Tabela 4 - Componentes integrantes do sistema de drenagem de Porto Alegre.

Componente	Descrição
Pontos de Captação	
Bocas de lobo	Entradas do sistema, localizadas nas ruas e calçadas, que captam a água da chuva.
Poços de visita	Permitem o acesso à rede para inspeção, limpeza e manutenção.
Grelhas e grades	Protegem as BL do tipo sarjeta e poços de visita, evitando a entrada de resíduos sólidos.
Rede de Transporte	
Galerias	Tubulações subterrâneas que conduzem a água da chuva por gravidade.
Canais abertos	Arroios e valas que transportam a água da chuva a céu aberto.
Conduitos forçados	Tubulações que conduzem a água sob pressão em travessias sob vias elevadas.
Dispositivos de Controle	
Reservatórios de detenção	Reservatórios que armazenam temporariamente a água da chuva, reduzindo o pico de vazão.
Estações de bombeamento	Elevam a água em áreas baixas para que ela possa seguir seu curso.
Comportas	Controlam o fluxo de água em canais e galerias, permitindo o seu direcionamento.
Diques de proteção	Barreiras construídas ao longo dos rios para conter as cheias.
Pontos de Descarga	
Rios e arroios	Recebem a maior parte da água da chuva coletada pelo sistema.
Lago Guaíba	Recebe parte da água da chuva coletada pelo sistema.
Outros elementos	
Muro da Mauá	Cortina de concreto que protege parte da cidade contra inundações do Guaíba.
Sistema de alerta de cheias	Monitora o nível dos rios e emite alertas em caso de risco de inundação.

Fonte: elaborada pelo autor

A cidade de Porto Alegre apresenta uma configuração topográfica e hidrográfica que a predispõe a eventos de inundações e alagamentos. Aproximadamente 35% da área urbana encontra-se a uma altitude de até três metros acima do nível médio do mar, com concentração

nas regiões Norte e Extremo Sul, intensificando a vulnerabilidade a tais eventos. Adicionalmente, a cidade é circundada por importantes corpos hídricos, como o Rio Gravataí, o Lago Guaíba e a Lagoa dos Patos, e entrecortada por 27 arroios, o que agrava a complexidade do sistema de drenagem (DMAE, 2024).

Visando mitigar os impactos decorrentes das condições geográficas e de eventos hidrometeorológicos extremos, o sistema de macrodrenagem urbana de Porto Alegre compreende uma extensa infraestrutura, que inclui:

- Rede de condutos pluviais com extensão aproximada de 2.500 km;
- Mais de 120 mil dispositivos de captação superficial (BL e poços de visita);
- 52 reservatórios de amortecimento;
- Estruturas de contenção: diques com extensão aproximada de 65 km, Muro da Mauá com 2698 metros, composta por cortina de concreto armado e, 14 comportas metálicas de proteção;
- 23 estações de bombeamento de águas pluviais (EBAP).

Essa complexa rede de infraestrutura desempenha um papel fundamental na gestão das águas pluviais e na redução do risco de inundações na cidade.

3.2 CANAIS

Os canais a céu aberto são uma parte fundamental da infraestrutura de drenagem urbana de Porto Alegre, responsáveis por transportar a água da chuva pelas ruas e avenidas. No entanto, muitos desses canais enfrentam problemas que comprometem sua capacidade de escoamento, aumentando o risco de alagamentos.

3.2.1 Canais assoreados e obstruídos

O assoreamento, o acúmulo de sedimentos no leito dos canais, é um problema recorrente em Porto Alegre. Diversos fatores contribuem para esse processo, como a erosão do solo, o transporte de sedimentos pelo vento e pela chuva, e o descarte inadequado de resíduos. O assoreamento reduz a capacidade de escoamento dos canais, tornando-os mais suscetíveis a transbordamentos durante eventos de chuva intensa.

Exemplos de canais assoreados:

- a) **Canal do Arroio Dilúvio:** Um estudo realizado pela Secretaria Municipal de Serviços Urbanos (SMSUrb) em 2020, identificou o assoreamento como um dos principais problemas do Canal do Arroio Dilúvio, especialmente na foz, mas notável em diversos pontos, como é possível ver na figura 9, que deixa nítido o desvio do curso d'água, além de ter sua lâmina de água reduzida. Cabe registrar que o assoreamento da foz foi dragado, em operação concluída em 2024.

Figura 9 - Arroio Dilúvio assoreado.



Fonte: autor (2024)

b) Canal do Arroio Passo das Pedras: localizado na zona norte da cidade de Porto Alegre, sofre com o assoreamento, o que contribui para o aumento do risco de alagamentos na região. A Secretaria Municipal do Meio Ambiente e da Sustentabilidade (SMAMAS) tem realizado ações de limpeza e desassoreamento no arroio, mas o problema persiste.

Um evento de chuva intensa ocasionou o alagamento de uma região as margens do Arroio Passo das Pedras. É possível notar a altura do transbordo de acordo com a mancha de argila na parede amarela (identificado, na figura que segue, pela linha vermelha). Além disso, ainda é notório o volume de resíduos nas margens do canal.

Figura 10 - Arroio Passo das Pedras após alagamento.



Fonte: Gehling (2021)

3.2.2 Obstruções por lixo e vegetação:

Além do assoreamento, os canais de Porto Alegre também sofrem com a obstrução por lixo e vegetação. O descarte inadequado de resíduos sólidos domiciliares (RSD), como garrafas, sacos plásticos e restos de comida, contribui para a obstrução dos canais, impedindo o livre

escoamento da água. A proliferação de vegetação aquática, como aguapés e jacintos-d'água, também obstrui o fluxo da água, agravando o problema dos alagamentos.

Como exemplo, podemos citar o caso do Arroio Passinhos, em Cachoeirinha, que, situado em uma zona urbana da cidade, também enfrenta problemas com obstruções por lixo e vegetação, conforme mostram as figuras 11 e 12. O descarte inadequado de resíduos domésticos e entulho, como plásticos, embalagens e restos de construção, contribui para a poluição da água e para obstrução no arroio, aumentando o risco de alagamentos na região.

Figura 11 - Arroio Passinhos obstruído por vegetação e RS.



Fonte: Gehling (2023)

Figura 12 - Arroio Passinhos obstruído por vegetação e RS.



Fonte: Gehling (2023)

3.2.3 Falta de manutenção e deterioração

A falta de manutenção regular dos canais, incluindo a limpeza de sedimentos, a remoção de detritos e a reparos de estruturas danificadas, compromete a eficiência do sistema de drenagem. Essa negligência contribui para o assoreamento, obstruções e a deterioração dos canais, intensificando os riscos de alagamentos.

3.3 ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS (EBAP):

O sistema atual de Porto Alegre, segundo dados do DEP (atualmente incorporado ao DMAE), conta com um sistema de bombeamento para fazer com que as águas pluviais e os esgotos sejam capazes de passar pelo sistema de proteção contra inundações e consigam chegar nos corpos hídricos, inclusive quando estes se encontram em maiores níveis.

Esse sistema é composto por 23 EBAP, sendo que juntas, elas somam 86 bombas que são capazes de movimentar 170 mil litros de água por segundo. São as EBAP:

Tabela 5 – EBAP e suas localizações

Núm	Nome da EBAP	Endereço	Área Protegida	Seção Responsável Operação
1	Rodoviária	Av. Pres. Castelo Branco, 6349	Centro	Centro
2	São João	Av. Pres. Castelo Branco, 5175	Centro	Centro
3	São Pedro	Av. São Pedro, 1	São Geraldo	Norte
4	Parque Náutico	Av. Voluntários da Pátria, 3710	São Geraldo	Norte
5	Adelino Machado de Souza	Av. Voluntários da Pátria, 5780	Humáita	Norte
6	Trevo	Av. dos Estados, 2905	Anchieta	Norte
7	Silvio Brum	Av. Sertório, 3424	Anchieta	Norte
8	Vila Farrapos	Rua Jayme Topolar, 350	Vila Farrapos	Norte
9	Sarandi	BR 290, 8500	Várzea do Sarandi	Norte
10	Abílio Fernandes	Rua Domingos de Abreu, 8	Sarandi	Norte
11A	Coronel Claudino	Rua Cel. Claudino, 50	Hipódromo e Vila Hípica	Sul
11B	Icarai	Av. Icarai, 1521	Hipódromo e Vila Hípica	Sul
12	Parque Gigante	Av. Padre Cacique, 889	Praia de Belas	Leste
13	Parque Marinha	Av. Edvaldo Pereira Paiva, 771	Menino Deus	Leste
14	Polícia Federal	Av. Ipiranga, 1337	Azenha	Leste
15	Érico Veríssimo	Av. Ipiranga, 906	Azenha	Centro
16	Rótula das Cuias	Av. Aureliano F. Pinto, 155	Cidade Baixa	Centro
17	Mauá	Av. Mauá, 555	Centro	Centro
18	Centro	Av. Mauá, 1825	Centro	Centro
19	Santa Terezinha	Rua Jacinto Gomes, 733	Santana	Leste
20	Vila Minuano	Rua Dona Alzira, 2001	Sarandi	Norte
21	Asa Branca	Rua Nevani Barbara Coelho, 502	Sarandi	Norte
22	Trincheira Ceará	Av. Ceará, 52	São João	Norte

Fonte: adaptado de DMAE (2024)

3.3.1 Equipamentos antigos e deficientes

Muitas EBAP de Porto Alegre possuem equipamentos antigos e deficientes. Conjuntos motor-bomba com baixa eficiência energética, motores desgastados e sistemas de controle obsoletos comprometem a capacidade de drenagem da rede, especialmente durante eventos de chuvas intensas. Um forte exemplo são as EBAP em áreas periféricas.

EBAP em Áreas Periféricas: Várias são as EBAP situadas em áreas periféricas da cidade que sofrem com a falta de manutenção e de investimentos em modernização. A precariedade dos equipamentos e a ausência de sistemas de controle automatizados comprometem a eficiência da drenagem nessas regiões, vulneráveis a alagamentos.

3.3.2 Consequências do equipamento deficiente:

- a) **Redução da Capacidade de Bombeamento:** Bombas antigas e desgastadas não conseguem impulsionar a água da chuva para a rede subterrânea com a eficiência necessária, aumentando o tempo de drenagem e o risco de alagamentos.
- b) **Aumento do Consumo de Energia:** A baixa eficiência energética dos equipamentos antigos, especialmente aqueles cujo motores não possuem inversores de frequência, resultam em um alto consumo de energia elétrica para o funcionamento das EBAP.

3.4 BOCAS DE LOBO

BL estão presentes por toda a capital. de acordo com o DEP são cerca de 75 mil unidades, e sua importância para o funcionamento adequado dos sistemas de drenagem é incontestável. Todavia, as BL de Porto Alegre sofrem com o problema crônico de obstruções por resíduos. A falta de conscientização da população sobre o descarte correto de resíduos está diretamente conectada a este problema, que, nos locais mais atingidos, são agravados com as enchentes.

Segundo o “Jornal do Comércio”, Porto Alegre gasta cerca de 27 milhões de reais por ano com a limpeza das BL, só entre 2020 e 2021, durante os serviços de limpeza urbana, foram retiradas mais de 13 mil toneladas de resíduos de BL, poços de visita e redes pluviais.

3.4.1 Obstrução das BL

A obstrução das BL impede o escoamento da água, resultando em alagamentos localizados e sobrecarregando o sistema de drenagem. Em alguns casos, a água acumulada pode invadir residências, comércios e vias públicas, causando transtornos e prejuízos materiais.

As figuras a seguir mostram como os gradeamentos das BL, feitos para evitar a entrada de RS para dentro do sistema de drenagem, podem ser facilmente obstruídos por detritos carregados pela chuva, prejudicando seriamente a capacidade de escoamento da água.

Figura 13 - BL gradeada obstruída.



Fonte: notas de aula de IPH-212 (2023)

Figura 14 - BL do tipo sarjeta obstruída.



Fonte: notas de aula de IPH-212 (2023)

Quando da ausência de gradeamento, Gehling em 2016, presenciou uma BL completamente obstruída e quando fez a liberação da entrada dessa BL, deparou-se com o interior da caixa inteiramente cheia de resíduos, conforme mostram as figuras 15 e 16.

Figura 15 - BL completamente obstruída.



Fonte: Gehling (2016)

Figura 16 - BL após desobstrução da entrada.



Fonte: Gehling (2016)

As duas imagens que seguem apresentam o interior de duas BL em fase inicial de retenção de resíduos. Em ambas nota-se a predominância de plásticos moles e embalagens plásticas rígidas. É intuitivo o destino que seguirão estes resíduos em caso de ocorrência de chuvas.

Figura 17 - BL 1 no bairro Alto Petrópolis.



Fonte: Gehling (2020)

Figura 18 - BL 2 no bairro Alto Petrópolis.



Fonte: Gehling (2020)

A armadilha proposta no item 7.2 foi concebida para permitir que resíduos, como os das duas figuras anteriores, passem pela entrada da BL. Mas ao ingressarem na caixa serão barrados por dois gradeamentos sobrepostos, afastados verticalmente por uma distância de 0,40m. O espaçamento entre barras de aço 8mm é de 0,06m. No ANEXO A nota-se uma profundidade mínima necessária para a caixa, ainda que o projeto possa receber adaptações, como uma redução do afastamento entre os dois barramentos. Este ajuste permitirá que o equipamento possa ser instalado em caixas de BL com menor profundidade.

As BL existentes não recebem operações para retirada de resíduos, a não ser em casos de obstrução. Assim, a adoção da armadilha proposta poderá reter resíduos, evitando o seu carreamento para corpos hídricos. Note-se que o barramento superior é basculante, para facilitar a retirada de resíduos do barramento inferior.

3.4.2 Manutenção das BL e seu sistema

A necessidade de manutenção e limpeza frequente das BL é outro desafio enfrentado pela cidade. A remoção de detritos e a desobstrução das entradas são essenciais para garantir o bom funcionamento do sistema de drenagem, mas muitas vezes essas tarefas não são realizadas com a frequência necessária, como é registrado nas figuras abaixo.

Figura 19 - BL completamente obstruído; e sem a devida limpeza.



Fonte: Adriana Machado/PMPA (2021)

Figura 20 - BL completamente destruída.



Fonte: autor (2024)

3.5 RESERVATÓRIOS DE AMORTECIMENTO

Os reservatórios de amortecimento, ou também conhecido como reservatórios de detenção, funcionam como estruturas de armazenamento temporário do excesso de água da chuva, reduzindo a velocidade e o volume do escoamento superficial. Isso permite que a água seja liberada de forma controlada para o sistema de drenagem, evitando sobrecargas e alagamentos a jusante. Além disso, esses reservatórios podem contribuir para a melhoria da qualidade da água, através da retenção de sedimentos e poluentes carregados pela chuva.

A instalação de reservatórios de amortecimento em Porto Alegre tem sido realizada em diferentes escalas, desde reservatórios de pequeno porte em lotes privados até grandes reservatórios em áreas públicas, como pode ser observado pela tabela 6. A escolha da localização e do tipo de reservatório depende de diversos fatores, como as características da área de contribuição, o tipo de ocupação do solo, a disponibilidade de áreas e os custos envolvidos.

Tabela 6 - Reservatórios de amortecimento de Porto Alegre.

Código	Reservatórios - Localização	Bacia	Volume (m³)	Característica
R01	Parque Marinha do Brasil - Santa Tereza	Santa Tereza	12.337	Aberto em grama
R02	Praça Olga Gutierrez	Santa Tereza	1.983	Aberto em concreto
R03	Praça Júlio Andreatta	Almirante Tamandaré	3.956	Aberto em concreto
R04	Loteamento Ipanema	Arroio Capivara	4.454	Aberto em grama
R05	Loteamento Cavallhada	Arroio Cavallhada	5.450	Aberto em grama
R06	Pista de Eventos	Santo Agostinho	3.000	Aberto em grama
R07	Parque Germania	Arroio da Areia	28.279	Aberto natural
R08	Ecoville - Centro comunitário	Passo das Pedras	1.043	Aberto em grama
R09	Ecoville - Porto Seco A	Passo das Pedras	1.463	Aberto em grama
R10	Ecoville - Porto Seco B e C	Passo das Pedras	1.892	Aberto em grama
R11	Ecoville - Canal	Passo das Pedras	1.282	Aberto em grama
R12	Loteamento Lagos da Nova Ipanema	Arroio do Salso	5.720	Aberto natural
R13	Loteamento Figueira	Arroio da Areia	601	Aberto em grama
R14	Loteamento Bucovina	Arroio Dilúvio	374	Aberto natural
R15	Loteamento Colinas de São Francisco	Arroio do Salso	605	Aberto natural
R16	Loteamento Caminhos de Belém	Arroio Espírito Santo	28.203	Aberto em grama
R17	Loteamento Hípica Boulevard	Arroio do Salso	3.500	Aberto em grama
R18	Loteamento Moradas da Figueira	Arroio Dilúvio	60	Aberto em grama
R19	Rossi América 1	Arroio Dilúvio	2.100	Aberto natural

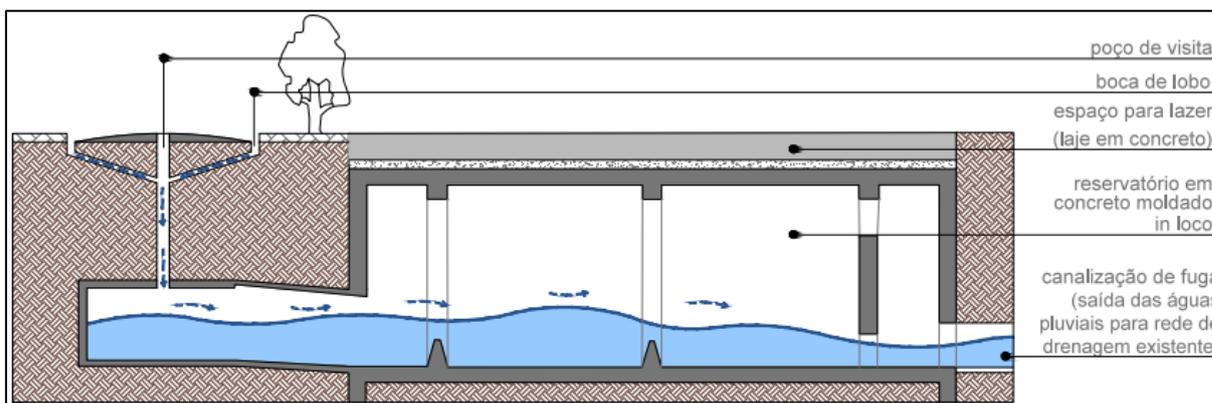
Código	Reservatórios – Localização	Bacia	Volume (m³)	Característica
R20	Rossi América 2	Arroio Dilúvio	1.280	Aberto natural
R21	Moradas do Sul 1	Arroio do Salso	3.750	Aberto em grama
R22	Moradas do Sul 2	Arroio do Salso	3.811	Aberto em grama
R23	Residencial Caminhos do Sol	Arroio Guarujá	2.500	Aberto em grama
R24	Loteamento Condor	Arroio da Areia	9.712	Aberto em grama
R25	Loteamento Campos do Conde 1	Passo das Pedras	1.710	Aberto em grama
R26	Loteamento Campos do Conde 2	Passo das Pedras	135	Aberto em grama
R27	Loteamento Safira	Arroio Feijó	1.340	Aberto em grama ¹
R28	Loteamento Bela Vista Sul	Arroio Espírito Santo	584	Aberto em grama
R29	Loteamento Chácara das Nascentes	Arroio do Salso	20.031	Aberto em grama ¹
R30	Loteamento Reyde Cameratta	Arroio Dilúvio	9.474	Aberto em grama ¹
R31	Praça Joaquim Leite	Arroio da Areia	1.884	Fechado em concreto
R32	Praça Celso Luft	Arroio da Areia	5.507	Fechado em concreto
R33	Loteamento Portal dos Bettio	Arroio Capivara	1.800	Aberto em grama
R34	Loteamento Irmãos Marista	Arroio Feijó	5.765	Aberto em grama
R35	Loteamento Irmãos Marista	Arroio Feijó	1.818	Aberto em grama
R36	Praça Dr. Luis Francisco Guerra Blessmann	Arroio da Areia	7.678	Fechado em concreto
R37	Loteamento Lagos de Nova Ipanema	Arroio do Salso	738	Aberto em grama
R38	Loteamento Parque do Rincão	Arroio do Salso	5.653	Aberto em grama ¹
R39	Loteamento Piemonte	Arroio Dilúvio	300	Aberto em grama ¹
R40	Loteamento Reserva de Ipanema	Arroio Espírito Santo	992	Aberto em grama ¹
R49	Loteamento Jardim Paraíso	Arroio do Salso		Aberto em grama ¹
R54	Loteamento Cristiano Kraemer	Arroio Capivara		Aberto em grama ¹
R56	Loteamento Lagos Nova Ipanema	Arroio do Salso		Aberto em grama ¹
R72	Loteamento Porto dos Encantos	Arroio Espírito Santo	829,3	Aberto em grama
R76	Loteamento Residencial Bahia	Arroio do Salso	926,1	Aberto em grama
R78A	Mem de Sá	Arroio Dilúvio	2.576	Aberto em grama ¹
R78B	Vila Pinto	Arroio Dilúvio	2.575	Aberto em grama ¹
R81	Loteamento Porto Rio Grande	Arroio Feijó		Aberto em grama ¹
R82	Loteamento Jardim Verde Ipanema	Arroio Capivara	605	Aberto em concreto
R85	Loteamento Schneider	Arroio do Salso	1.388	Aberto em grama ¹
R86	Praça Fortunato Pimentel	Arroio da Areia	9.392	Fechado em concreto
R87	Praça Lopes Trovão	Arroio da Areia	7.500	Fechado em concreto

Fonte: adaptado de DMAE

Em áreas densamente povoadas, onde há necessidade de armazenar grandes volumes de água, a utilização de reservatórios de detenção subterrâneos é uma solução eficaz. A água da chuva que cai no pavimento é direcionada para o reservatório através de bocas de lobo, evitando alagamentos. Posteriormente, essa água é gradualmente liberada para a rede de drenagem

existente, respeitando sua capacidade de vazão (ABCP, 2014). A seguir, a figura 21 mostra o desenho esquemático de um reservatório de detenção.

Figura 21 - Desenho esquemático de um reservatório de detenção fechado.



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (2014)

A Avenida Goethe, localizada no bairro Moinhos de Vento em Porto Alegre, era notória por seus frequentes alagamentos, especialmente em períodos de chuvas intensas. A topografia da região, aliada a impermeabilização do solo e a insuficiência do sistema de drenagem, contribuíam para o acúmulo de água na via, causando transtornos para motoristas, pedestres e moradores da região.

Diante desse cenário, a implementação de um reservatório de amortecimento na região da Avenida Goethe representou um marco importante na busca por soluções para os problemas de drenagem urbana em Porto Alegre. O reservatório, construído sob a da região, passou a armazenar temporariamente o excesso de água da chuva, reduzindo o volume e a velocidade do escoamento superficial e minimizando o risco de alagamentos na avenida, como é possível notar nas figuras que seguem, as quais mostram a avenida antes e depois da implementação dele.

Figura 22 - Av. Goethe antes da implantação do reservatório.



Fonte: FCTH (2013) apud MARQUES (2019)

Figura 23 - Av. Goethe após implantação do reservatório.



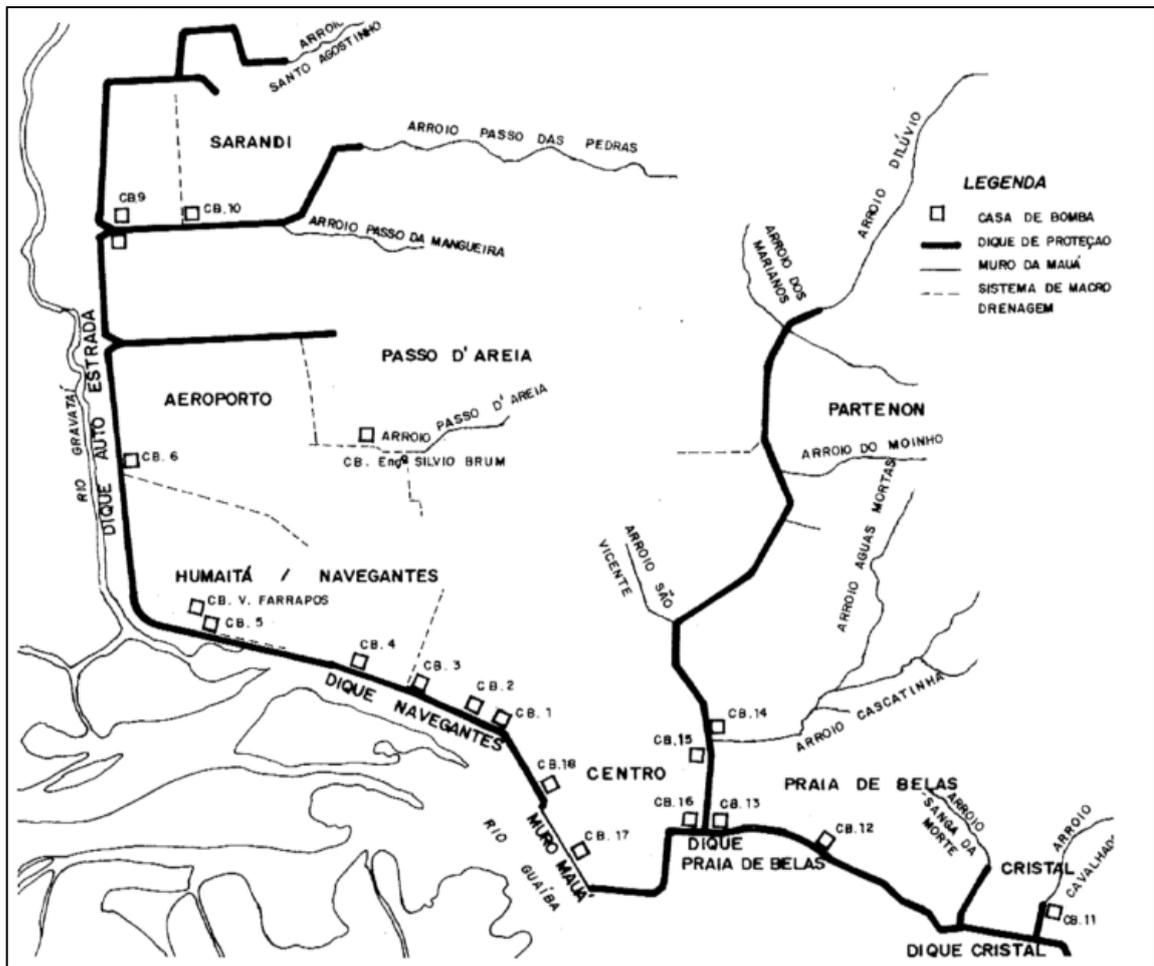
Fonte: FCTH (2013) apud MARQUES (2019)

A obra, concluída em 2018, trouxe benefícios significativos para a região, como a redução dos alagamentos na Avenida Goethe, a melhoria da mobilidade urbana e a valorização do entorno. Além disso, o reservatório contribuiu para a revitalização da Praça Itália, que se tornou um espaço de lazer e convivência para a comunidade.

3.6 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA CHEIAS

Implementado após a inundação histórica de 1941, o sistema de proteção contra cheias de Porto Alegre (figura 24) compreende o Muro da Mauá, 14 comportas, 68 quilômetros de diques e 23 EBAP com a função específica de operarem quando o lago Guaíba apresentar nível de água que impeça o fluxo das caixas da EBAP para o lago. Essa combinação estratégica de barreiras físicas e sistemas de bombeamento visa controlar o fluxo de água, conter cheias e drenar eficientemente as áreas inundadas, garantindo a segurança das áreas urbanas e a integridade da infraestrutura crítica da cidade.

Figura 24 - Projeto esquemático do sistema de proteção de enchentes de Porto Alegre.

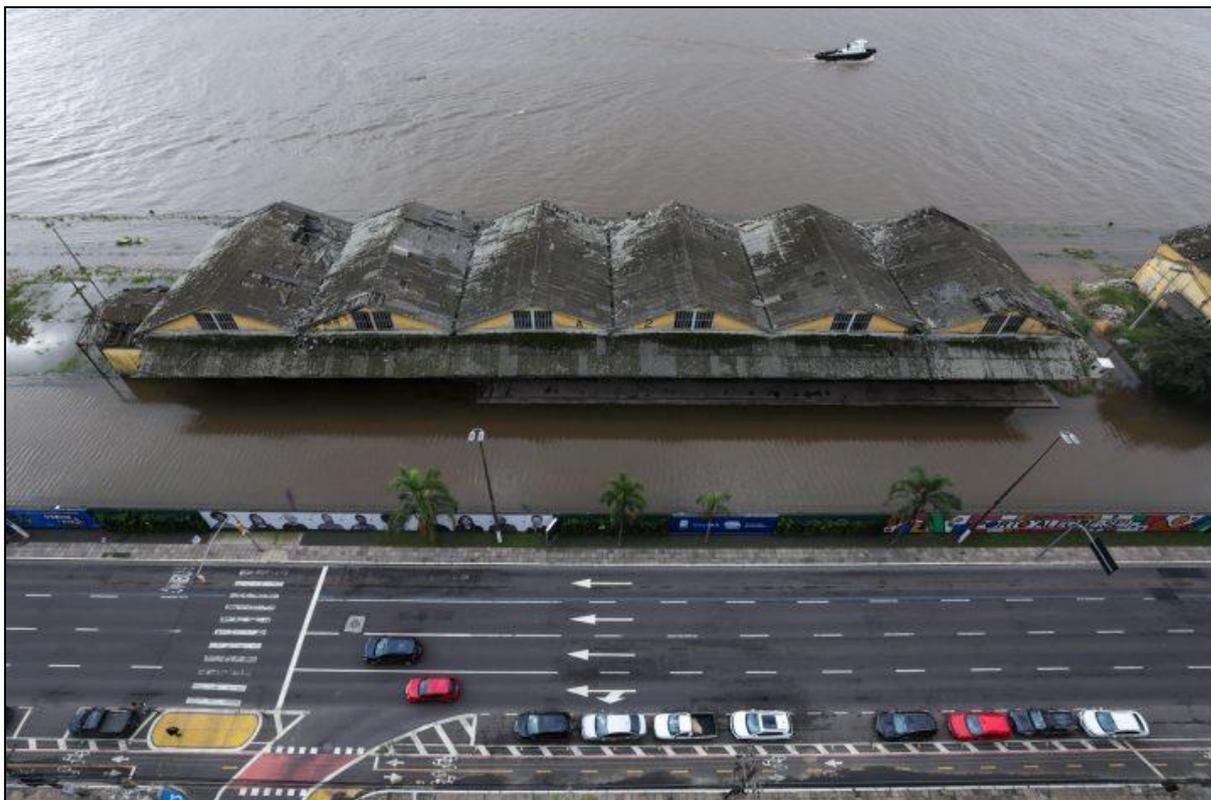


Fonte: UFRGS (2024)

3.6.1 Muro da Mauá (cortina de proteção)

O Muro da Mauá, situado no centro de Porto Alegre, é um componente crucial do Sistema de Proteção Contra Cheias da cidade. Com uma profundidade de três metros abaixo do solo e uma altura de três metros acima, totalizando 2.647 metros de comprimento, o muro de concreto armado protege importantes edificações públicas na área central, como a Prefeitura, o prédio dos Correios e Telégrafos, a Secretaria da Fazenda do Estado e o Museu de Arte do Rio Grande do Sul. Localizado às margens do Guaíba, entre o Porto e a Avenida Mauá, este muro faz parte do sistema de proteção contra cheias (DEP / PMPA). A figura 25 destaca a função do muro da Mauá quando o nível do Guaíba está acima da cota de inundação.

Figura 25 - Muro da Mauá vista de cima com cota do Guaíba alta.



Fonte: SENGE-RS (2023)

De acordo com o DEP / PMPA, a ausência do Muro da Mauá, que corresponde a 4% da extensão total dos diques de proteção, teria consequências graves em caso de enchente. As águas provenientes dos afluentes, mesmo após serem bombeadas para fora da área urbana através das EBAP e, dos condutos forçados, retornariam à cidade pelo vão deixado pela remoção do muro. Essa situação resultaria na inundação da região central da cidade, causando danos significativos à infraestrutura e à população.

3.6.2 Diques

Iniciando no entroncamento da Freeway com a avenida Assis Brasil, na zona norte, os diques percorrem um total de 68 quilômetros, indo até a zona Sul da cidade de Porto Alegre, finalizando na avenida Diário de Notícias.

Os diques são estruturas de proteção construídas para evitar o extravasamento de rios e proteger as áreas ribeirinhas contra inundações. Essas estruturas podem ser feitas de terra ou

concreto e apresentam diferentes formatos, podendo ser inclinadas ou retas. Normalmente, os diques são construídos a uma certa distância das margens dos rios.

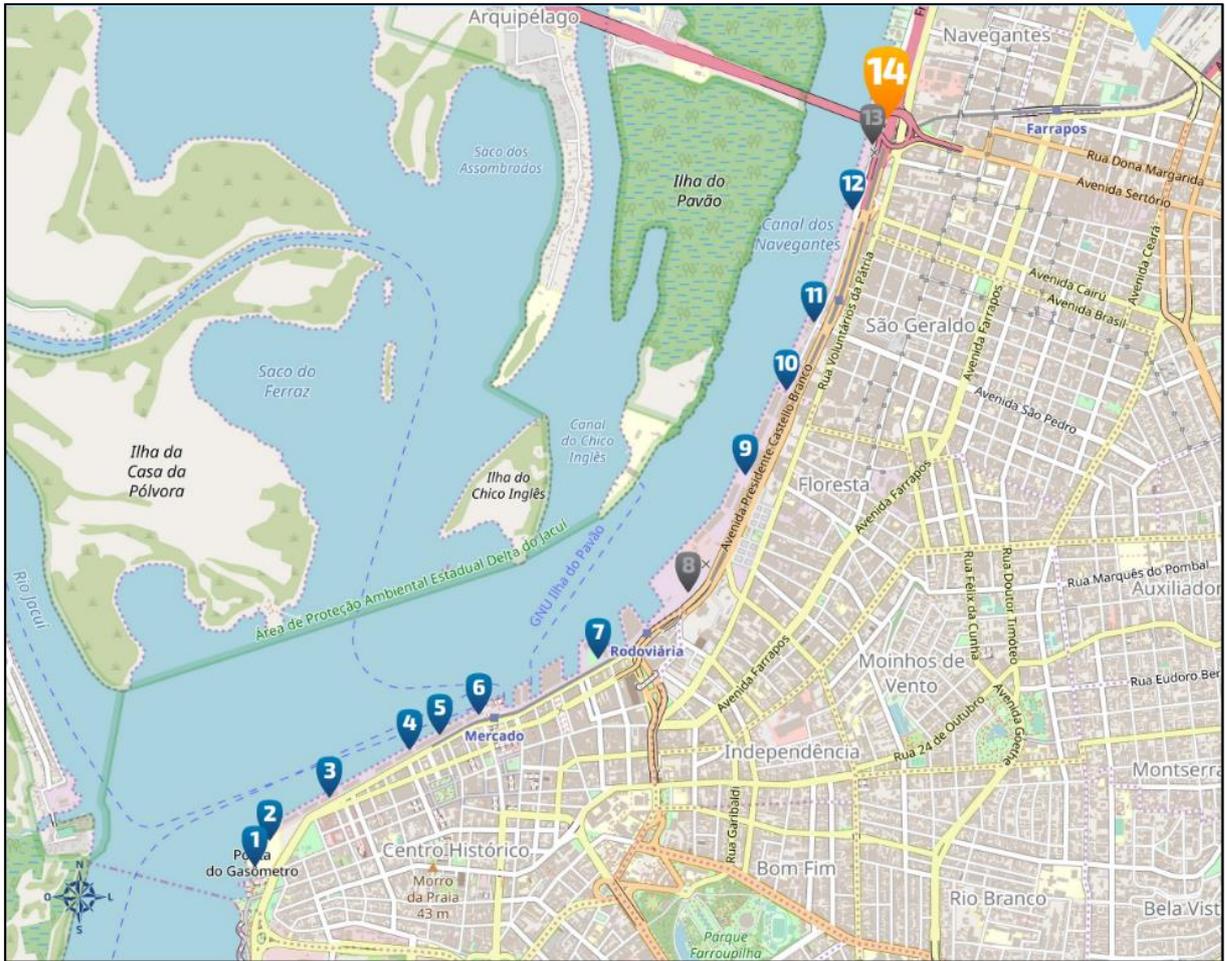
Um dos maiores desafios na construção de diques é determinar corretamente a enchente máxima provável que a estrutura deve suportar. Esta previsão é crucial para garantir a eficácia do dique na proteção contra inundações. Existe sempre um risco inerente de colapso dos diques. Caso ocorra uma enchente maior do que a prevista, o colapso do dique pode resultar em danos significativamente piores do que se a estrutura não existisse. A falha de um dique pode causar inundações rápidas e severas, impactando severamente as áreas protegidas, o que efetivamente aconteceu em Porto Alegre em maio de 2024.

A função primordial dos diques é a de criar um obstáculo físico que impeça o transbordamento dos rios e arroios, especialmente durante períodos de chuvas intensas ou aumento dos corpos hídricos. Além de sua função principal de contenção, os diques também podem ser projetados para atuar como áreas de amortecimento, absorvendo o excesso de água e reduzindo a velocidade do fluxo. Essa capacidade de amortecimento contribui para a estabilização do sistema de drenagem e para a proteção de áreas mais vulneráveis a jusante.

3.6.3 Comportas

O Muro da Mauá tem, ao longo de toda a sua extensão, 14 comportas de proteção. Essas comportas são como portões, que são acionadas pelo DMAE em situações de risco hidrológico, como a iminência de extravasamento do Lago Guaíba. A localização das comportas pode ser conferida na figura 26.

Figura 26 - Mapa das comportas de Porto Alegre.



Fonte: DMAE (2020)

Durante o evento de cheia extrema ocorrido no período de desenvolvimento do TCC, as comportas do sistema de proteção contra cheias do Muro da Mauá apresentaram falhas em seu mecanismo de vedação. A disfunção e a dificuldade de fechamento em algumas comportas permitiu a entrada de água do Guaíba, exacerbando a inundação em diversas áreas urbanas.

A ausência de manutenções em algumas delas, levaram a uma total perda de sua função. As figuras a seguir mostram as comportas 12 e 14, respectivamente. A primeira delas colapsou, enquanto a outra teve de ser fechada com o uso de bags.

Figura 27 - Comporta N° 12 colapsada após a enchente de maio de 2024.



Fonte: autor (2024)

Figura 28 - Comporta N° 14 após a enchente de maio de 2024, fechada com bags e com acúmulo de sedimentos.



Fonte: autor (2024)

Atualizada no dia 18 de julho de 2024, o DMAE disponibilizou a situação das comportas:

“Comporta 1 (Usina do Gasômetro) - aberta desde 28 de maio

Comporta 2 (Cais Embarcadero) - aberta desde 28 de maio

Comporta 3 (avenida Mauá x Padre Tomé) - fechada com bags

Comporta 4 (avenida Mauá x Sepúlveda) - aberta desde 3 de julho

Comporta 5 (avenida Mauá) - fechada permanentemente

Comporta 6 (Catamarã) - aberta desde 3 de julho

Comporta 7 (avenida Mauá) - fechada permanentemente

Comporta 8 (avenida Castelo Branco) - fechadas permanentemente

Comporta 9 (avenida Castelo Branco) - fechadas permanentemente

Comporta 10 (avenida Castelo Branco) - fechadas permanentemente

Comporta 11 (avenida São Pedro) - aberta desde 1º de julho

Comporta 12 (avenida Cairú) - reaberta em 18 de julho

Comporta 13 (avenida Castelo Branco) - fechada permanentemente

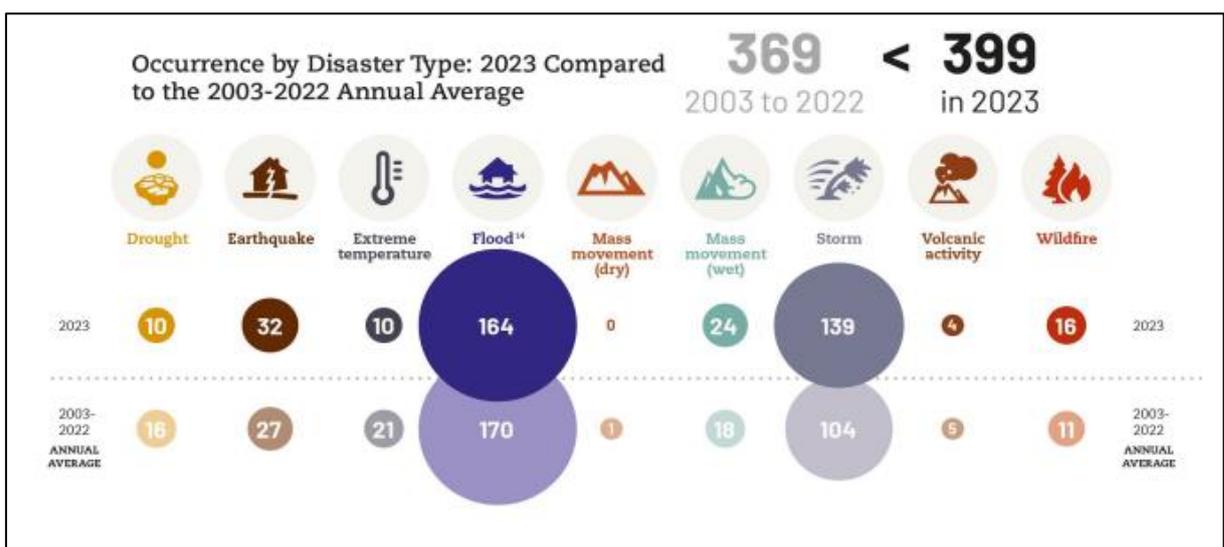
Comporta 14 (avenida Castelo Branco x Voluntários da Pátria) - fechada com bags”

4 HISTÓRICOS DE INUNDAÇÕES

As inundações são eventos naturais que têm impactado a humanidade ao longo de sua história. Esses fenômenos, resultantes de chuvas intensas, transbordamento de rios, ou mesmo falhas em infraestruturas, possuem a capacidade de causar grandes prejuízos materiais e sociais. Este capítulo tem como objetivo apresentar um panorama histórico das inundações ao redor do mundo, destacando suas principais causas e consequências. Particular atenção será dada à cidade de Porto Alegre, cuja localização geográfica e características climáticas a tornam especialmente vulnerável a esses eventos. Através da análise dos dados históricos, buscamos compreender os padrões e a frequência das inundações nesta região, assim como as medidas adotadas ao longo do tempo para mitigar seus impactos.

Dados do EM-DAT (The International Disaster Database), um centro de pesquisas em epidemiologia de desastres, mostram um comparativo do número de desastres, por tipo, ocorridos no período de 2023 em relação à média anual dos anos de 2003 até 2022. Conforme a figura apresentada a seguir, é possível notar que as enchentes ocupam o primeiro lugar num ranking que trata do número de ocorrências.

Figura 29 - Ocorrência de desastres naturais: 2023 comparado a média anual do período de 2003 a 2022.



Fonte: EM-DAT (2023)

4.1 HISTORICO DE INUNDAÇÕES EM PORTO ALEGRE

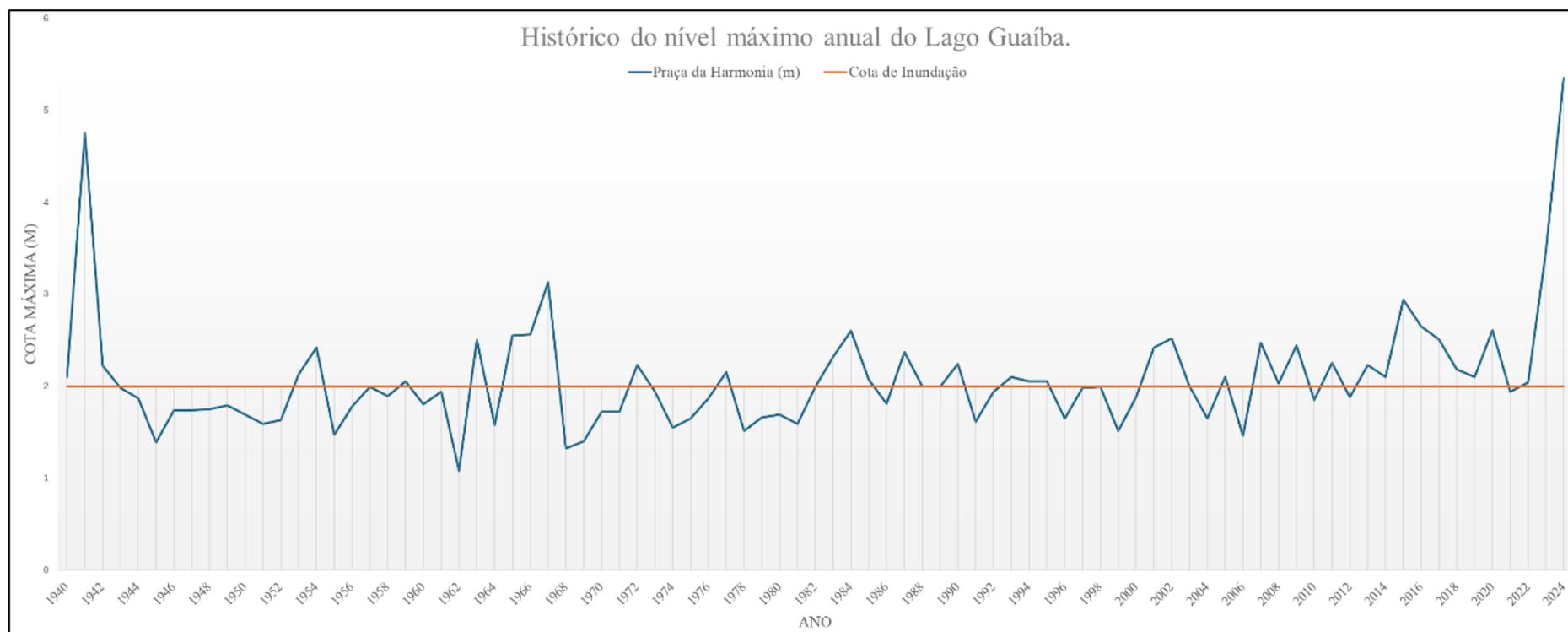
As enchentes ocorridas em maio e junho de 2024 em Porto Alegre foram as maiores já ocorridas na cidade. Mas não foram as primeiras. E nem motivo de surpresa para aqueles que conhecem a geografia e a história da região, o que é um forte indício de que as autoridades não se prepararam de forma adequada para o fenômeno. (Goussinsky, Revista Oeste, 2024).

Em uma pesquisa buscando o histórico fluviométrico de Porto Alegre, foi gerado um gráfico, apresentado pela figura 30, que registra anualmente o nível máximo da cota do Guaíba, de acordo com a régua da Praça da Harmonia, desde 1940. Além disso, a Revista Brasileira de Cartografia (2012), dispõe os registros das maiores enchentes já ocorridas na cidade:

“[...]”

- 1899, a altura da enchente teria chegado a 2,65 metros além da cota normal do Guaíba.
- 1914, 2,60 metros além da cota normal.
- 1928, 3,20 metros além da cota.
- 1936, 3,22 metros além da cota.
- 1941, 4,75 metros além da cota normal.
- 1967, 3,13 metros além da cota.
- 1983, 2,32 metros acima da cota.
- 2001, 2,40 metros acima da cota”

Figura 30 - Histórico do nível máximo anual do Lago Guaíba, de 1940 até 2024.



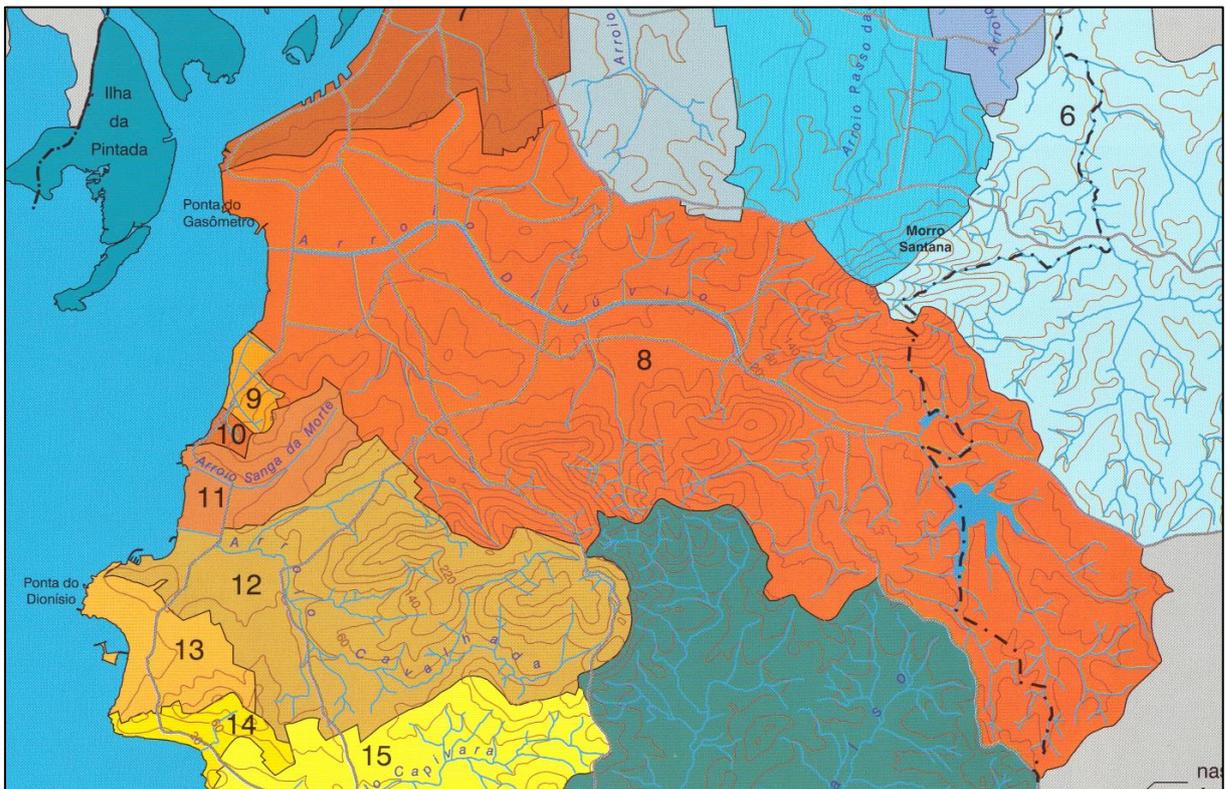
Fonte: elaborada pelo autor

O recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), elaborado por Castellanos et al. (2022), evidencia a elevada vulnerabilidade da região Sul do Brasil à intensificação de eventos meteorológicos extremos. Destacam-se a crescente frequência de tempestades convectivas de alta intensidade, a ocorrência de ciclones extratropicais e a tendência de aumento nas precipitações pluviométricas. Tais projeções, que apresentam elevado grau de confiabilidade, já encontram respaldo em dados coletados por estações meteorológicas da região, corroborando a necessidade de ações e políticas públicas para mitigação e adaptação aos impactos das mudanças climáticas.

4.2 ESTUDO DE CASO – ARROIO DILÚVIO

O Arroio Dilúvio, um dos principais cursos d'água de Porto Alegre, é um exemplo emblemático dos desafios enfrentados pela drenagem urbana da cidade. Sua bacia hidrográfica (demarcada pela cor laranja e o número 8 na figura 31), densamente urbanizada, sofre com problemas de assoreamento, poluição e ocupação irregular do solo, que contribuem para a ocorrência de alagamentos recorrentes.

Figura 31 - Demarcação da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio.



Fonte: adaptado de MENEGAT (2006)

4.2.1 Histórico e características

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (2016), a bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, que abrange cerca de 63,24 km² (83% da área total da bacia), é lar para quase um terço da população de Porto Alegre, o que representa aproximadamente 500.000 habitantes. As nascentes do arroio estão situadas no município de Viamão, e seu curso principal se estende por 14,09 km, dos quais 9,70 km são canalizados em um canal aberto com taludes de pedra, taludes gramados e sem revestimento de fundo.

Algumas características do arroio acabam por tornar ele vulnerável a inundações, tal como o relevo, o solo ao seu redor e o principal, que é a poluição.

A bacia na qual situa-se possui trechos com alta declividade, o que favorece o escoamento superficial da água da chuva e aumenta o risco de erosão do solo. Adicionalmente, a urbanização da bacia, caracterizada pela construção de infraestrutura viária e edificações, resultou na impermeabilização do solo, diminuindo a taxa de infiltração e conseqüentemente elevando a vazão de escoamento superficial.

Quando se trata da poluição, o arroio recebe esgoto doméstico e industrial sem tratamento, além de lixo e outros RS, o que compromete a qualidade da água e agrava os problemas de drenagem, obstruindo o fluxo da água e reduzindo a capacidade de escoamento do arroio. Diversas são as ilustrações que poderiam ser inseridas, representativas da poluição no percurso do arroio Dilúvio. Seguem algumas.

Figura 32 - RS em trecho do Arroio Dilúvio.



Fonte: Gehling (2023)

Figura 33 - RS em trecho do Arroio Dilúvio.



Fonte: Gehling (2023)

4.2.2 Problemas de drenagem

As dificuldades de drenagem no Arroio Dilúvio resultam em uma série de problemas recorrentes. As enchentes e alagamentos, cada vez mais frequentes e intensos, causam danos à infraestrutura urbana, como pontes, viadutos e ruas, e comprometem a mobilidade urbana, dificultando o deslocamento de pessoas e mercadorias. Os prejuízos econômicos são significativos, com perdas para o comércio, a indústria e o setor de serviços.

Os impactos ambientais também são alarmantes. A poluição do arroio, agravada pelas enchentes, compromete a qualidade da água, afetando a fauna e a flora aquáticas e prejudicando o uso do recurso para atividades de lazer e turismo. A erosão das margens do arroio, intensificada pelo aumento da vazão da água, causa o assoreamento do leito, reduzindo ainda mais a capacidade de escoamento e aumentando o risco de novas enchentes.

Em 2014, por exemplo, uma forte chuva causou o transbordamento do Dilúvio, inundando diversas ruas e avenidas da cidade, deixando milhares de pessoas desabrigadas e causando prejuízos estimados em milhões de reais. Em 2015, outro evento de chuva intensa provocou alagamentos em diversos pontos da bacia, incluindo a Avenida Ipiranga, uma das principais vias da cidade.

Para enfrentamento desses problemas, em 2022 e 2023, a Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) intensificou as ações de dragagem no Arroio Dilúvio. Essas obras visam retirar o excesso de sedimentos do leito do arroio (figura 34), aumentando sua profundidade e capacidade de vazão, a retirada de lixo, entulho e outros detritos ajuda a desobstruir o canal, facilitando o fluxo da água.

Figura 34 - Obra de dragagem do Arroio Dilúvio.



Fonte: Joel Vargas/PMPA

4.3 ESTUDO DE CASO: ENCHENTE DE MAIO DE 2024 EM PORTO ALEGRE

Não apenas em Porto Alegre, mas quase que todo o estado do Rio Grande do Sul passou por um evento de chuva extremo em maio de 2024, como mostra a figura 35, período em que era escrito o presente TCC. De acordo com a Defesa Civil do Rio Grande do Sul, mais de 2,3 milhões de pessoas foram afetadas.

Figura 35 - Precipitação total acumulada em maio de 2024, por município.

MUNICÍPIOS	Total de chuva (mm)	Média – Normal Climatológica (mm)	Desvio de chuva em (mm)
	Maio/2024	Maio	Maio/2024
Caxias do Sul	845,3	131,4	713,4
Santa Maria	617,1	136,6	480,5
Bom Jesus	556,4	118,9	437,5
Porto Alegre	536,6	112,9	539,9

Fonte: INMET (2024)

De acordo com o decreto estadual, foram reconhecidos 78 municípios em estado de calamidade e 340 em situação de emergência no Rio Grande do Sul. Todavia, aqui seguiremos com uma análise frente a cidade em estudo, Porto Alegre.

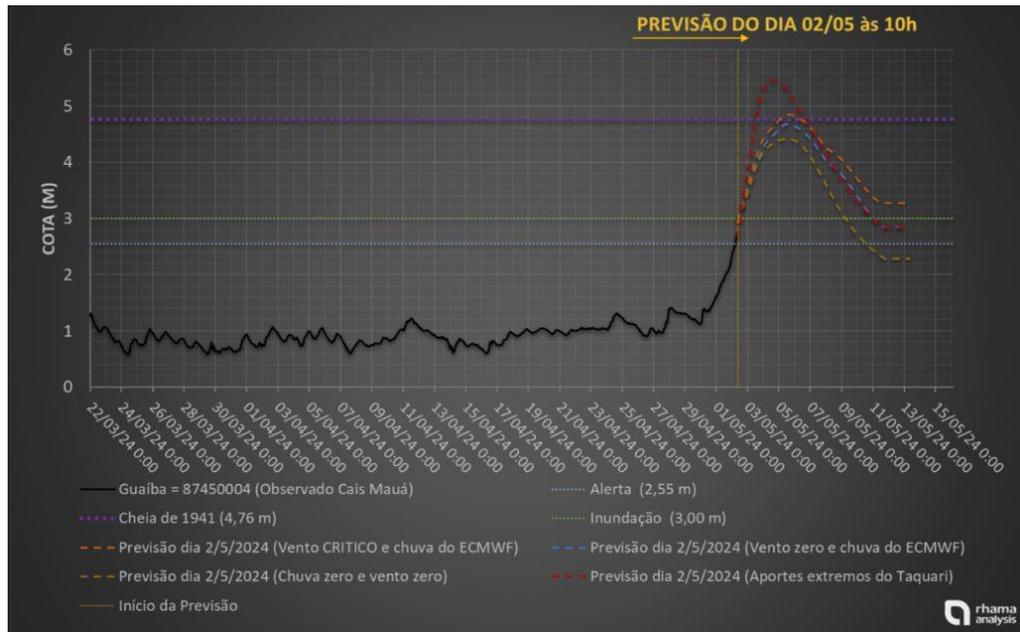
A enchente de maio de 2024 em Porto Alegre, um evento climático extremo que marcou a cidade, serve como um estudo de caso relevante para analisar a vulnerabilidade do sistema de drenagem urbana e a necessidade de medidas preventivas e de mitigação.

4.3.1 Caracterização do evento

Em 29 de abril de 2024, a Prefeitura de Porto Alegre, através de suas redes sociais, já emitia comunicados sobre o acúmulo pluviométrico e o consequente risco hidrológico, direcionado a moradores de áreas vulneráveis, porém sem especificá-las. No dia 1º de maio, a enchente no Vale do Taquari já era reportada como evento de proporções históricas, com a Defesa Civil recomendando a evacuação das áreas de risco e emitindo alerta específico para os residentes da região insular de Porto Alegre, localizada a oeste do Lago Guaíba. Essa região, além de não contar com sistema de contenção, apresenta cota de inundação inferior a 2 metros. Contudo, apesar do cenário crítico e do rápido escoamento das águas dos rios em direção ao Guaíba, não houve emissão de alerta geral para a cidade de Porto Alegre.

No dia 2 de maio, o IPH divulgou a previsão que levava o nível do Guaíba a marcas históricas (figura 36), superando a cota de 5 metros acima do nível do mar. Todavia, a PMPA, emitiu um alerta de inundação direcionado apenas aos residentes do Centro e do IV Distrito, informando sobre a possibilidade de níveis fluviais "superiores a 4 metros".

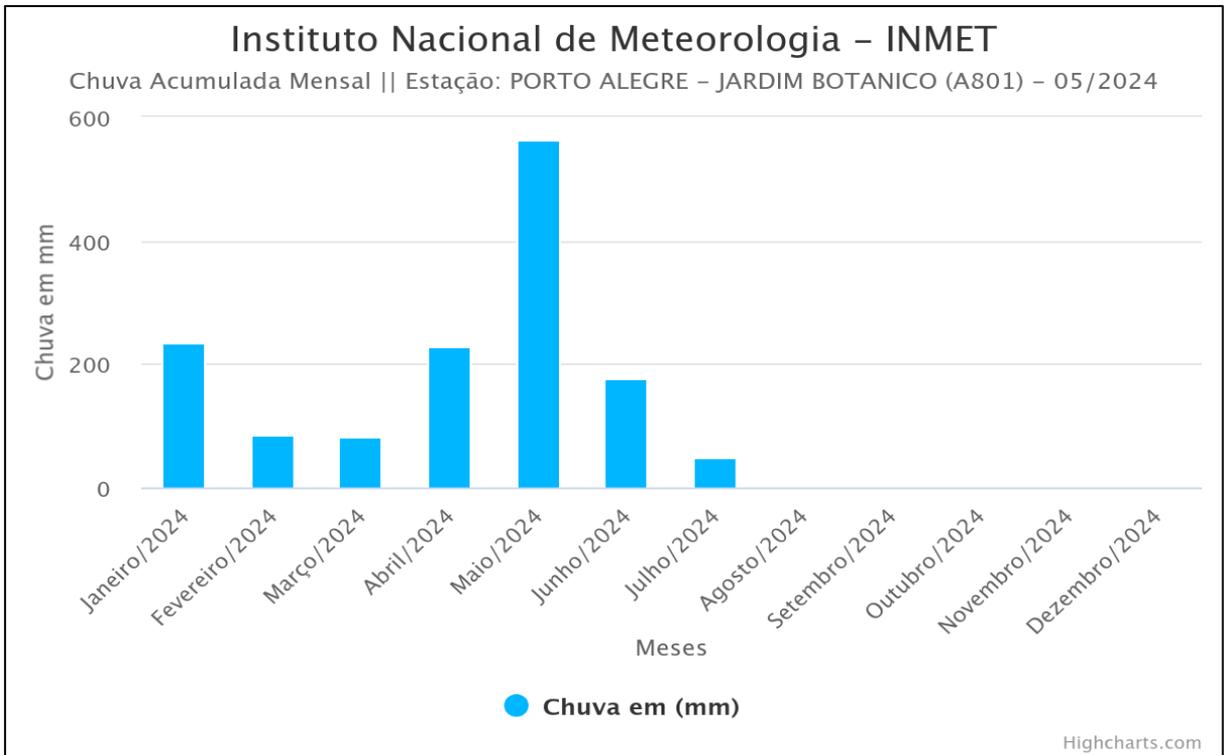
Figura 36 - Previsão da cota do Guaíba divulgada pelo IPH no dia 2 de maio.



Fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS (2024)

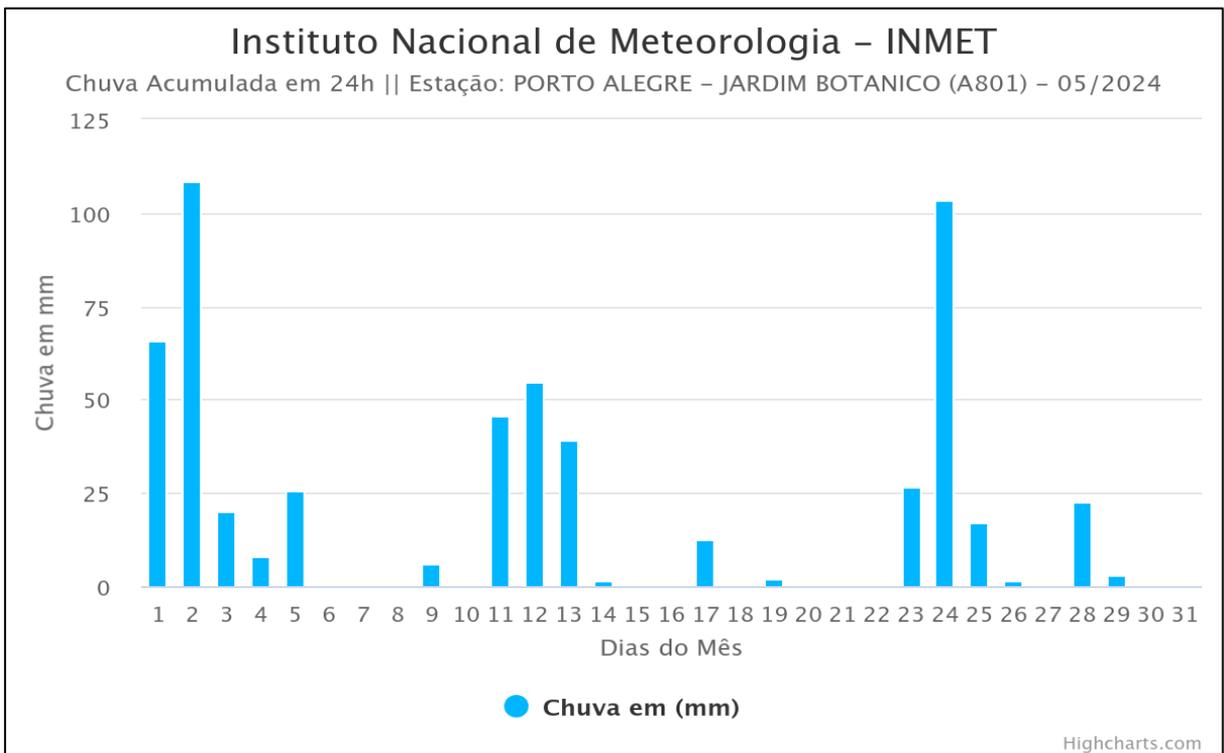
No dia 3 de maio de 2024, Porto Alegre começou a sentir os efeitos do evento de chuva intensa e prolongada, aliada às chuvas que já vinham acontecendo desde 27 de abril, como mostram as figuras a seguir. Essa precipitação excepcional, superior à média histórica para o mês, sobrecarregou o sistema de drenagem da cidade, resultando em alagamentos generalizados e inundações em diversas regiões.

Figura 37 - Chuva acumulada mensal no ano de 2024 pela estação de controle do INMET no Jardim Botânico de Porto Alegre/RS.



(fonte: INMET, 2024)

Figura 38 - Chuva acumulada diária no mês de maio de 2024 pela estação de controle do INMET no Jardim Botânico de Porto Alegre/RS.



Fonte: INMET (2024)

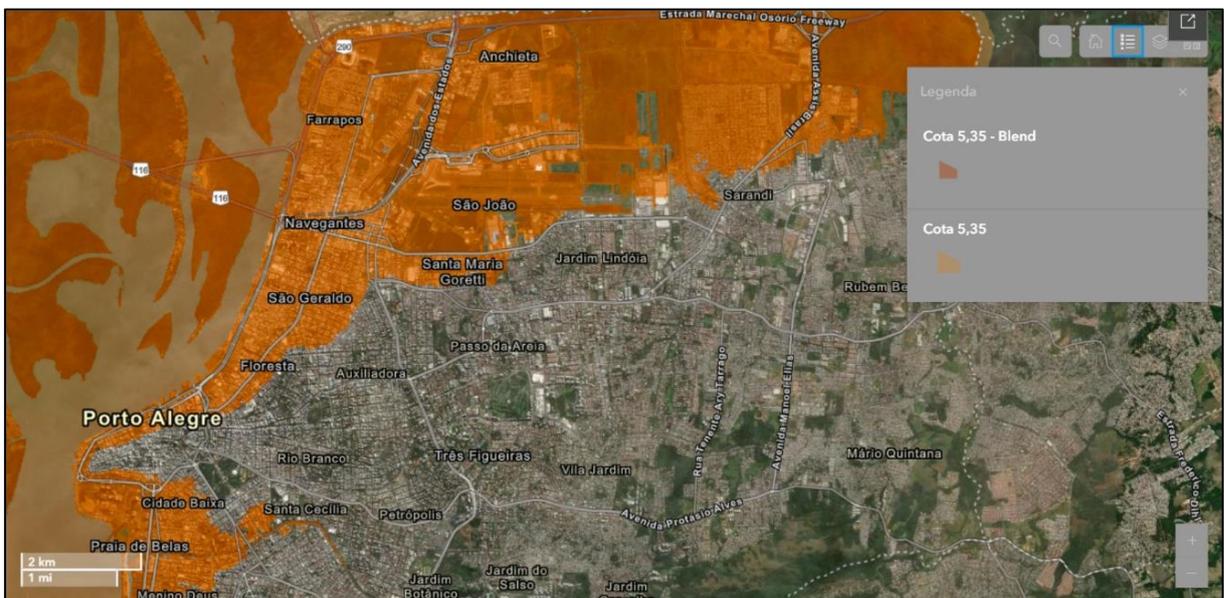
De acordo com o INMET, as chuvas intensas e contínuas foram o resultado de uma série de fatores, dentre eles é citado uma massa de ar quente sobre a área central do país, a qual bloqueou a frente fria na região sul. Ademais é citado também o fenômeno El Niño, que aqueceu as águas do Oceano Pacífico, contribuindo para a instabilidade sobre o Estado.

4.3.2 Impactos da enchente

As enchentes que assolaram o Rio Grande do Sul em maio de 2024 deixaram um rastro de destruição e prejuízos em diversos setores da economia, com impactos significativos no varejo e no turismo. Segundo a Confederação Nacional do Comércio de Bens, Serviços e Turismo (CNC), as perdas no varejo gaúcho atingiram R\$ 3,32 bilhões, enquanto o turismo amargou um prejuízo de R\$ 1,33 bilhão.

A seguir, as figuras 39 e 40 mostram, respectivamente, a área abrangida pelo evento climático extremo em Porto Alegre, no dia em que o Guaíba registrou sua maior cota fluviométrica e; uma ampliação da zona norte vista por satélite no mesmo dia.

Figura 39 - Mapa de inundação em 6 de maio de 2024 em Porto Alegre.



Fonte: PAINEL INFORMATIVO/PMPA (2024)

Figura 40 - Zona norte de Porto Alegre completamente alagada, vista por satélite.



Fonte: PAINEL INFORMATIVO/PMPA (2024)

Além dos impactos econômicos diretos, as enchentes também causaram danos à infraestrutura do estado. O fluxo de veículos de carga nas estradas gaúchas sofreu uma queda de 28%, evidenciando os desafios logísticos enfrentados pela região. (CNC, 2024)

Os impactos das enchentes se estenderam para além dos setores econômicos, atingindo também a população e o meio ambiente. Milhares de pessoas foram desabrigadas ou desalojadas, e diversas comunidades sofreram com a perda de suas casas e bens. De acordo com a Defesa Civil, 172 óbitos foram confirmados e mais de 629 mil pessoas tiveram de deixar suas residências no estado do Rio Grande do Sul.

As chuvas intensas e as inundações também causaram danos à agricultura, comprometendo a produção de alimentos e gerando prejuízos para os agricultores (Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024). Outros impactos, são apresentados na figura abaixo.

Figura 41 - Impacto das cheias de maio de 2024 em Porto Alegre.



Fonte: PAINEL INFORMATIVO / PMPA (2024)

Em resposta aos eventos climáticos extremos que impactaram o estado, o Governo do Rio Grande do Sul elaborou um plano abrangente de reconstrução, com foco em três eixos principais: resposta imediata, restabelecimento de serviços e reconstrução de longo prazo, sendo distribuído da seguinte forma:

Resposta Imediata (R\$ 218 milhões): alocação de recursos para o fortalecimento da capacidade operacional das forças de segurança e a criação de uma estrutura de governança emergencial para a coordenação das ações de resposta e recuperação.

Assistência (R\$ 2,4 bilhões): implementação de soluções habitacionais provisórias e subsídios para locação; provisão de benefícios sociais para famílias em situação de vulnerabilidade socioeconômica; e alocação de recursos para o suporte psicossocial e assistência médica às vítimas.

Restabelecimento (R\$ 7,2 bilhões): desobstrução de vias e restabelecimento de serviços públicos essenciais, como o fornecimento de água, energia elétrica e telecomunicações; e execução de ações de limpeza, remoção de detritos e demolição de estruturas danificadas.

Reconstrução (R\$ 8,9 bilhões): recuperação da infraestrutura viária, incluindo rodovias, pontes e edificações públicas; e revitalização de áreas urbanas, fomento à produção agrícola e implementação de medidas de recuperação ambiental.

A figura 42 mostra resumidamente esse orçamento.

Figura 42 - Orçamento do plano de reconstrução proposto pelo Governo Estadual.



Fonte: Governo RS (2024)

4.3.3 Análise das causas

A análise das causas da enchente de maio de 2024 em Porto Alegre revela uma combinação de fatores, incluindo (sem hierarquização por sua importância):

a) **Intensidade (abrangência e duração) da chuva:**

Porto Alegre experimentou um período prolongado de precipitação pluviométrica acima da média histórica, com índices pluviométricos significativamente elevados por várias semanas. Essa condição meteorológica resultou em um acúmulo substancial de água na bacia hidrográfica.

A elevação do nível do Lago Guaíba é uma consequência direta desse excesso de precipitação. O Guaíba, um corpo hídrico receptor de diversos rios e arroios da região, sofreu um aumento considerável em seu volume devido ao aporte de água proveniente desses afluentes, que tiveram sua vazão ampliada pelas chuvas intensas.

Adicionalmente, a ação do vento sul, que atua em direção contrária ao fluxo natural do Guaíba em direção à Lagoa dos Patos, contribuiu para a elevação do nível do lago, gerando um efeito de represamento e dificultando o escoamento da água.

b) Impermeabilização do solo:

Essa característica impede a infiltração da água da chuva no solo, resultando em um rápido escoamento superficial e sobrecarregando o sistema de drenagem da cidade. A água, que naturalmente seria absorvida pelo solo em áreas permeáveis, acaba se acumulando nas ruas e contribuindo para os alagamentos.

c) Assoreamento e obstrução dos canais:

De acordo com o DMAE, a cheia do Guaíba, que antecedeu as chuvas intensas, deixou um rastro de sedimentos, lixo e outros detritos nas galerias pluviais. Essa obstrução prejudicou o fluxo da água, diminuindo a capacidade de escoamento das galerias e agravando o problema dos alagamentos.

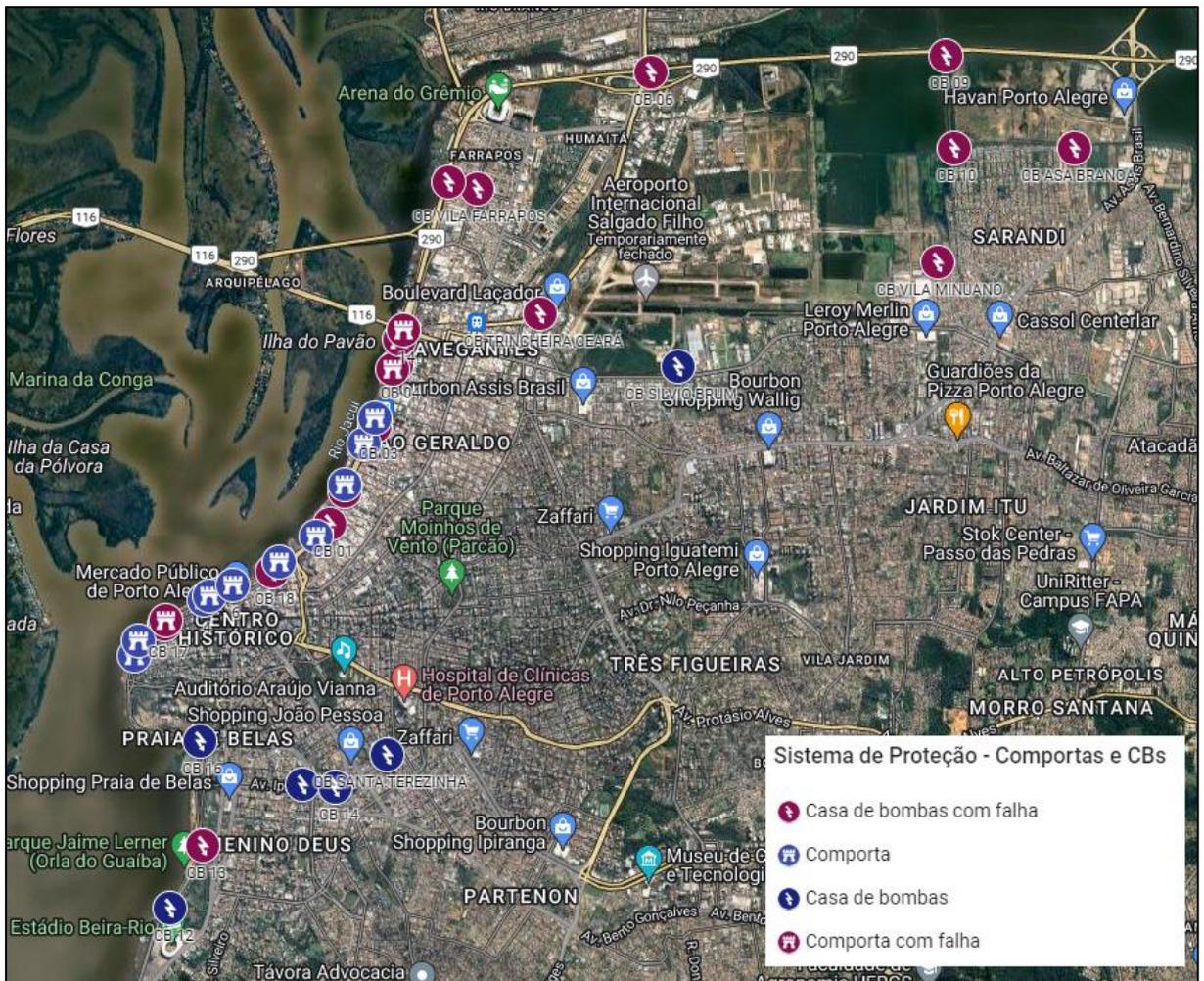
d) Deficiências na infraestrutura de drenagem:

Das 23 EBAP existentes em Porto Alegre, apenas 10 estavam em funcionamento durante as chuvas de maio de 2024, no decorrer da elevação do nível das águas, mais EBAP tiveram de ser desligadas pela CEEE por questões de segurança, por conta de os painéis elétricos ficarem submersos, totalizando um total de 19 EBAP inoperantes. A limitação se deve ao risco de inundação dessas estações, que são elétricas e podem representar um perigo para a população. A falta de bombeamento adequado prejudicou o escoamento da água acumulada na cidade, contribuindo para as inundações.

e) Falhas nas comportas do Muro da Mauá:

Durante o evento, algumas comportas do Muro da Mauá apresentaram falhas no fechamento, permitindo a entrada da água do Guaíba e agravando a inundação em áreas da cidade. Outra fraqueza identificada nesse ponto, foi a ausência de isolamento das comportas internas das EBAP. A figura que segue deixa explícito os itens “d” e “e”.

Figura 43 - Mapa do sistema de drenagem de Porto Alegre durante o período da enchente.



Fonte: POSSANTTI, Mapa interativo do *google my maps* (2024)

4.3.4 Análise do evento

O recente evento serve como um alerta para a necessidade de uma profunda reflexão sobre o sistema de controle de enchentes vigente, que não passou por atualizações significativas em sua concepção nos últimos 50 anos, mesmo diante dos alertas da comunidade científica sobre o agravamento de eventos climáticos extremos. O aprendizado que emerge dessa trágica experiência deve impulsionar uma revisão abrangente dos aspectos técnicos do sistema, incluindo medidas como a elevação das EBAP. Caso não seja possível elevar todo o sistema de bombeamento, ao menos elevar os painéis elétricos. Cabe ainda, a manutenção rigorosa das borrachas vedantes e parafusos das comportas, assim como a vedação dos condutos forçados. O desastre ocorrido escancarou a necessidade, urgente, de desapropriação dos diques. Teve rompimento de dique em área ocupada, e sua ocupação não permitiu maiores intervenções.

A enchente de maio de 2024 evidenciou a necessidade de ações urgentes para melhorar a resiliência da cidade frente aos eventos climáticos extremos. É fundamental investir em infraestrutura de drenagem mais eficiente, promover a regularização fundiária em áreas de risco, implementar medidas de controle da impermeabilização do solo e intensificar a manutenção dos canais e galerias pluviais.

Além disso, é crucial desenvolver um sistema de alerta e resposta rápida para minimizar os impactos das enchentes, incluindo a evacuação de áreas de risco, a proteção de infraestruturas críticas e o apoio às comunidades afetadas. A educação ambiental e a conscientização da população sobre o descarte adequado de resíduos também são medidas importantes para prevenir a obstrução das BL e dos canais, contribuindo para a redução dos riscos de alagamentos. A manutenção e o aprimoramento do sistema de proteção contra cheias, incluindo o Muro da Mauá, são cruciais para garantir a segurança da cidade em eventos climatológicos futuros.

5 INOVAÇÕES

5.1 ECO BARREIRA DO ARROIO DILUVIO

Em parceria com a PMPA, o Instituto SAFEWEB idealizou o projeto **Ecobarreira do Arroio Dilúvio**. O projeto se destaca por abraçar os princípios da *Environmental, Social and Governance* (ESG). Com o objetivo de melhorar a qualidade das águas, a barreira foi concebida para minimizar o aporte de resíduos sólidos flutuantes, especialmente plásticos, que são aportados ao arroio Dilúvio. Cabe ressaltar que a quase totalidade dos resíduos depositados no Dilúvio é proveniente de galerias pluviais, e não de deposição direta.

Após a sua implantação, a Ecobarreira do Dilúvio recebeu o apoio da Braskem. A referida empresa caracterizou o PET recolhido, identificando uma via de inserção desses resíduos em linha de reciclagem.

O empreendimento "jornadaesg.com" realiza percurso terrestre entre o sul da América Latina e o Alasca. Trata-se de iniciativa do navegador Amyr Klink e do publicitário Marcel Guariglia, que visa despertar para iniciativas voltadas à preservação ambiental, sobretudo evitar o aporte de plásticos aos mares.

Os organizadores do "jornadaesg.com" objetivam principalmente minimizar o aporte de plásticos aos mares. No paralelo 30 a Ecobarreira do Dilúvio foi selecionada como o empreendimento de destaque. Em Porto Alegre documentaram o Centro de Triagem Vila Pinto e a Ecobarreira do Dilúvio. O vídeo (50:38) que apresenta os dois empreendimentos pode ser acessado no link que segue. Na parte inicial é documentada uma visita de escolares ao Centro de Triagem Vila Pinto. E aos 33:07 pode ser apreciada a visita do mesmo grupo de escolares à Ecobarreira do Dilúvio.

https://youtu.be/wXq44T84Y-A?si=G9PZ_A0hEHt3l2ji

As dezenas de milhares de BL distribuídas na cidade recebem resíduos que são levados das vias urbanas para as sarjetas junto ao meio-fio dos passeios. Deste local, quando de eventos pluviométricos, os resíduos, através das BL, escoam pelas galerias pluviais, chegando ao arroio Dilúvio.

5.1.1 O funcionamento da Ecobarreira

A Ecobarreira do Arroio Dilúvio foi implantada a jusante da ponte da Avenida Borges de Medeiros (figura 44). Foi proposta pela direção da empresa SAFEWEB à municipalidade, com os custos de implantação totalizando R\$ 250.000,00 assumidos pela empresa proponente. Após a sua implantação a empresa firmou o compromisso com a PMPA de assumir os custos operacionais por um período de cinco anos. Vencido este período, o compromisso foi renovado por mais cinco anos, dos quais três já se passaram.

Figura 44 – Ecobarreira do Arroio Dilúvio vista de cima



Fonte: Kaercher S., *Google maps* (2017)

O custo operacional bancado pelo Instituto SAFEWEB é de cerca de R\$25.000,00 mensais, incluindo salário de operadores, serviço de segurança e manutenções que periodicamente se fazem necessárias.

O sistema consiste em um barramento flutuante, capturando RS que flutuam até 20 centímetros de profundidade, como plásticos, isopor, folhas, galhos, madeiras e lodo. A maneira como ela foi construída, faz com que os resíduos sejam carregados superficialmente para a margem direita, onde há uma gaiola onde eles são retirados das águas por operadores. O equipamento é içável por acionamento de um trole, conforme a figura 45.

Figura 45 – Gaiola de içamento da Ecobarreira do Arroio Dilúvio



Fonte: Gehling (2024)

Os resíduos retirados das águas são coletados diariamente, várias vezes, pelo DMLU. O Instituto SAFEWEB, em parceria com a empresa Braskem, decidiu caracterizar os materiais recolhidos para dar uma destinação apropriada. Com isso, constatou-se que havia material que podia ser reciclado. Portanto, uma parcela do material retirado é encaminhada à Unidade de Triagem e Compostagem (UTC) Lomba do Pinheiro, onde é realizada a triagem e a separação dos materiais recicláveis. Somente o material não aproveitável é destinado ao aterro sanitário.

5.1.2 Resultados da ecobarreira arroio Dilúvio

De acordo com a figura 46, desde sua inauguração em 28 de março de 2016 até 2023, mais de mil toneladas (1.164.678 kg) de resíduos flutuantes chegaram ao Lago Guaíba. Isto contribui para reduzir o aporte de plásticos aos mares.

Figura 46 - Acumulado anual de materiais retirados pela ecobarreira Dilúvio.



Fonte: Ecobarreira do Dilúvio (2023)

Além de contribuir com a preservação do Lago, a Ecobarreira do Dilúvio trata ainda de descontaminar o arroio através da retirada de resíduos, o que acaba por melhorar a biodiversidade local, uma vez que o arroio Dilúvio possui uma fauna aquática significativa, como mostra a figura 47. Isso tudo é feito sem alterar a ecologia dos ecossistemas aquáticos, pois não faz uso de agentes químicos (OICS, 2020).

Figura 47 - Cardume de tilápia no Arroio Dilúvio.



Fonte: Gehling (2024)

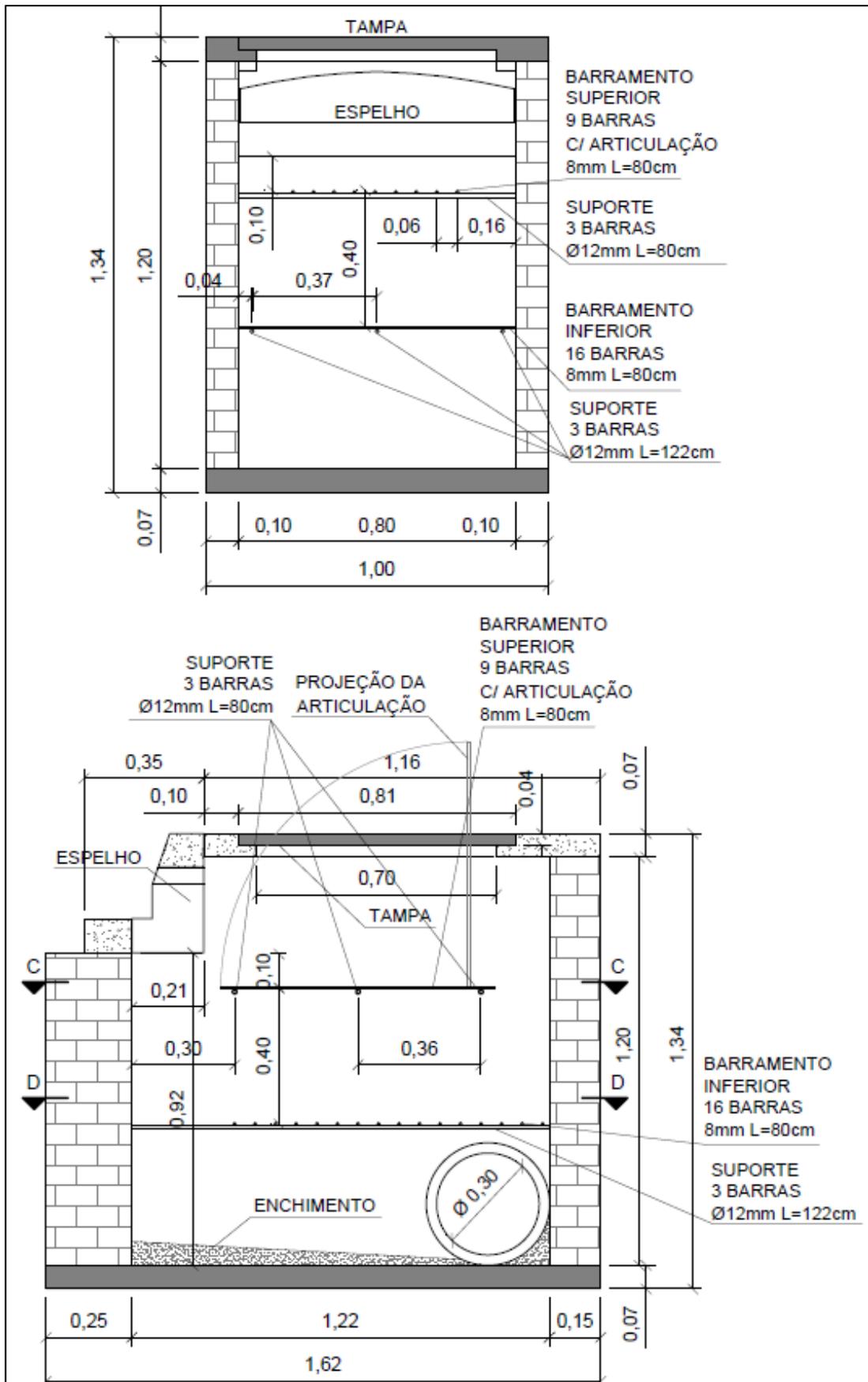
5.2 ARMADILHA PARA RESÍDUOS

A obstrução das BL por RS é um dos principais fatores que contribuem para os alagamentos em Porto Alegre. A instalação de armadilhas para resíduos nessas estruturas pode ser uma solução simples e eficaz para mitigar esse problema. Uma dessas soluções foi desenvolvida por Petroli (2020) em seu TCC.

A armadilha projetada por Petroli (2020) consiste em um dispositivo de baixo custo para retenção de RS no interior das caixas pluviais vinculadas às BL, com o objetivo de reter principalmente materiais inorgânicos, como plásticos.

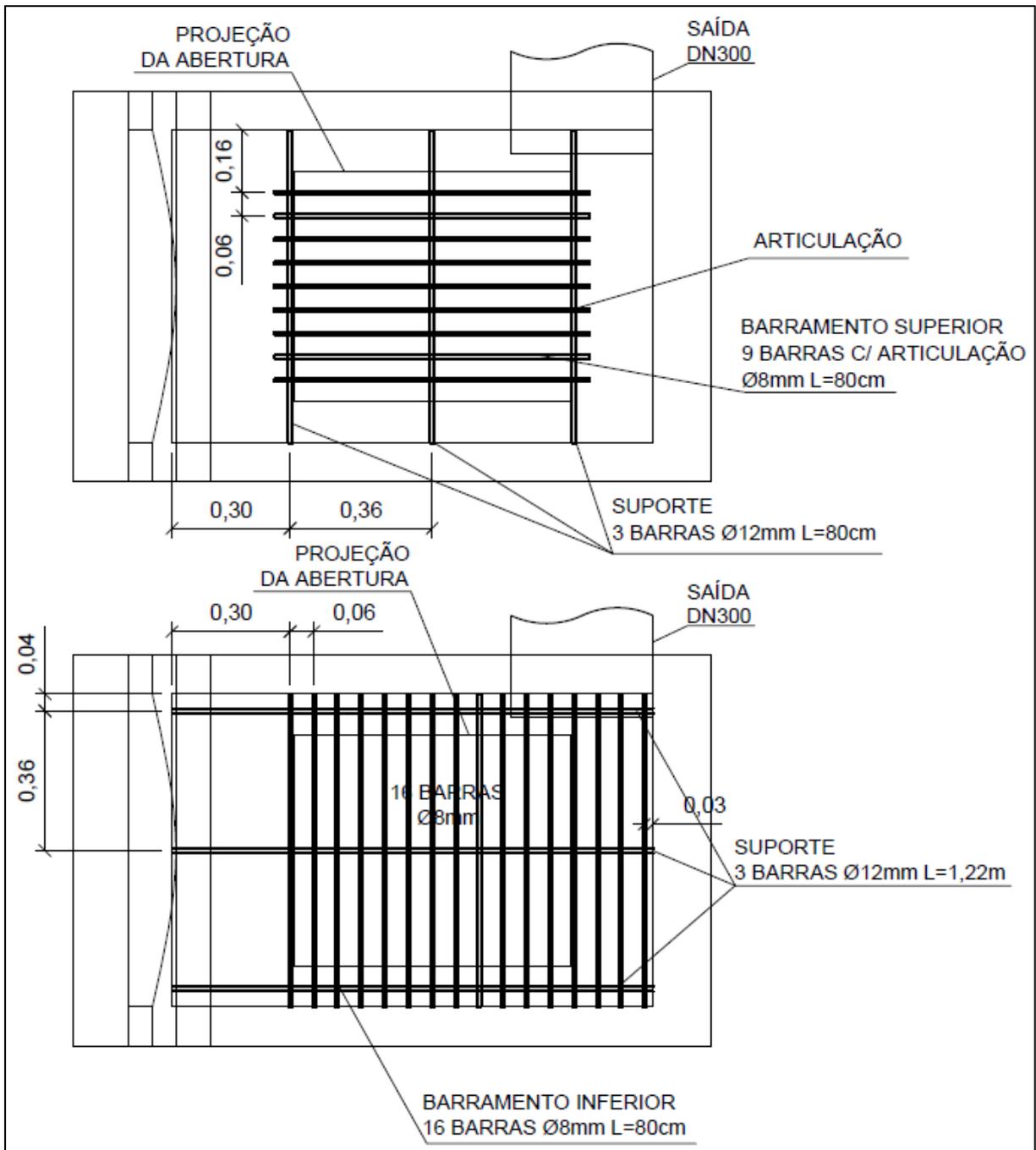
A armadilha é composta por dois níveis de barramentos, um superior e outro inferior, ambos com barras espaçadas para permitir a passagem da água, mas reter os RS. O barramento superior possui barras perpendiculares ao meio-fio, enquanto o barramento inferior tem barras paralelas ao meio-fio, o que aumenta a eficiência na retenção de diferentes tipos de resíduos (figuras 48 e 49).

Figura 48 - Vistas frontal e lateral da armadilha de Petroli.



Fonte: Petroli (2020)

Figura 49 - Barramento superior e inferior da armadilha.



Fonte: Petroli (2020)

Nota-se, pelas figuras 48 e 49, que os dois gradeamentos da caixa deixam uma abertura. Assim, se ficarem obstruídos os vãos entre as barras, a água passará pelas aberturas. O projeto da armadilha de Petroli (2020) pode ser apreciado em prancha A2 no ANEXO A.

A armadilha possui o barramento superior fixo e articulado, que facilita o acesso para a remoção dos resíduos acumulados e protege o sistema contra furto e vandalizações. Sugere-se ainda, além do teste da utilização da armadilha com apenas esse barramento articulado em BL de menores profundidades, que quando possível a instalação do segundo nível de barramento, este seja removível, para caso seja preciso acessar a BL para fins de jateamento da rede por parte do DMAE, por exemplo. A limpeza da armadilha é simples e rápida, podendo ser realizada pelos próprios funcionários do DMLU.

A instalação da armadilha em BL estratégicas, especialmente em áreas com maior acúmulo de resíduos, pode contribuir significativamente para a redução do volume de RS que chega aos corpos hídricos da cidade, minimizando os problemas de obstrução e assoreamento. Além disso, a retenção de plásticos nas BL evita que esses materiais se fragmentem em micro e nanoplásticos, que representam um risco para a saúde humana e o meio ambiente.

5.2.1 Proposta de lei para implementação em novos empreendimentos

Diante dos resultados promissores da armadilha, propõe-se a elaboração de uma proposta de lei municipal que incentive a instalação dessas estruturas em novos empreendimentos imobiliários na cidade de Porto Alegre. Essa medida teria um impacto positivo na gestão de RS e na prevenção de alagamentos, contribuindo para a construção de uma cidade mais sustentável e resiliente. A armadilha proposta pode ser uma forma aceitável de iniciativas de construtoras visando adquirir direitos de solo criado.

A armadilha projetada por Petroli (2020) apresenta-se como uma solução promissora para o problema dos RS nas BL em Porto Alegre. Sua implementação em larga escala, aliada a outras medidas de gestão de resíduos e educação ambiental, pode contribuir para a melhoria da qualidade de vida na cidade e para a preservação do meio ambiente.

6 CONCLUSÃO

A urbanização é um processo complexo com diversas implicações sociais, ambientais e espaciais. No caso de Porto Alegre, a análise do sistema pluvial é crucial para garantir a gestão eficiente da água da chuva e minimizar os impactos negativos da urbanização na cidade. Ao compreender as causas, consequências e desafios da urbanização, podemos buscar soluções para construir cidades mais sustentáveis e resilientes.

A análise da eficiência do sistema de drenagem urbana de Porto Alegre frente a eventos extremos de chuva revela um cenário complexo e desafiador. A cidade, com sua topografia peculiar e seu histórico de ocupação desordenada do solo, apresenta vulnerabilidades significativas aos impactos das chuvas intensas.

Após anos sem uma grande enchente que viesse a efetivar a eficácia do sistema conhecido como Muro da Mauá, o presente TCC foi redigido durante a catástrofe climática que pôs o mesmo à prova. A cortina de proteção, infelizmente, não foi capaz de cumprir seu papel conforme planejado, parte disso por conta da falta de manutenção, a qual possui um sistema subfinanciado.

O sistema de drenagem existente, embora tenha passado por algumas melhorias ao longo dos anos, ainda apresenta deficiências que comprometem sua capacidade de lidar com eventos extremos. A falta de investimentos em infraestrutura, a manutenção inadequada dos canais e tubulações, a ocupação irregular do solo e a poluição dos cursos d'água são fatores que contribuem para a ocorrência de alagamentos e enchentes na cidade.

A experiência da Avenida Goethe demonstra o potencial dos reservatórios de amortecimento como ferramentas de gestão da drenagem urbana em Porto Alegre. A implementação dessas estruturas, aliada a outras medidas como a permeabilização do solo e a educação ambiental, pode contribuir para a construção de uma cidade mais resiliente e preparada para enfrentar os desafios das mudanças climáticas.

Dentre os problemas citados, o foco reside na obstrução dos canais e BL, causada pelo acúmulo de resíduos carreados pelas chuvas. Essa obstrução impede o escoamento adequado da água, resultando em alagamentos, especialmente em áreas mais baixas e próximas aos cursos d'água. A adoção de políticas públicas que enfatizem a importância da correta separação de

resíduos na fonte geradora e a coleta regular, aliada à implementação de novas tecnologias que aprimorem a eficácia do sistema de drenagem, são medidas cruciais para mitigar esses problemas.

Este trabalho visa contribuir para o debate sobre a drenagem urbana em Porto Alegre, oferecendo um diagnóstico da situação atual, identificando os principais desafios e propondo um equipamento para melhorar a eficiência do sistema e reduzir os riscos de alagamentos. Espera-se que este estudo possa servir como base para a elaboração de políticas públicas e ações concretas que visem a construção de uma cidade mais resiliente e preparada para enfrentar os desafios das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ABCP. **Programa Soluções para Cidades**. Projeto Técnico: Reservatórios de Detenção. São Paulo, 2014.

Castellanos, E. et al. Central and South America. In: PÖRTNER, H.-O. et al. (eds.). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

CHRISTOFIDIS, D. et al. (eds.). **Water Management in the 21st Century: Sustainable Solutions for Water-Scarce Cities**. Londres: IWA Publishing, 2017.

CNC. **Enchentes no RS dão prejuízos bilionários ao varejo e turismo em maio, diz CNC**. CNN Brasil, 2024. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/enchentes-no-rs-dao-prejuizos-bilionarios-ao-varejo-e-turismo-em-maio-diz-cnc/>. Acesso em: 11 jul. 2024.

CNN Brasil. **Enchente em Porto Alegre: como funciona o sistema de proteção contra cheias na cidade**, 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/enchente-em-porto-alegre-como-funciona-o-sistema-de-protecao-contracheias-na-cidade/>. Acesso em: 5 jul. 2024.

Correio do Povo. **Prefeitura retira mais de 7,6 mil toneladas de lixo do Arroio Dilúvio**, 2024. Disponível em: <https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/geral/prefeitura-retira-mais-de-7-6-mil-toneladas-de-lixo-do-arroio-dil%C3%BAvio-1.277317>. Acesso em: 11 jul. 2024.

Defesa Civil do Rio Grande do Sul. **Após identificação de mais uma vítima, chega a 54 o número de mortos nas enchentes no Vale do Taquari**. 2024. Disponível em:

<https://www.defesacivil.rs.gov.br/apos-identificacao-de-mais-uma-vitima-chega-a-54-o-numero-de-mortos-nas-enchentes-no-vale-do-taquari>. Acesso em: 14 jun. 2024.

DMAE. **Informações Esgoto Pluvial**. Prefeitura de Porto Alegre. Disponível em:

<https://prefeitura.poa.br/dmae/informacoes-esgoto-pluvial>. Acesso em: 17 abr. 2024.

DMAE. **Drenagem em Porto Alegre**. Saneamento Básico, 2024. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/drenagem/dmae-drenagem-em-porto-alegre/>. Acesso em: 18 abr. 2024.

Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB). **Habitação**: Novo relatório aponta 142 áreas de risco na Capital. Prefeitura de Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/demhab/noticias/habitacao-novo-relatorio-aponta-142-areas-de-risco-na-capital>. Acesso em: 11 jul. 2024.

ECOBARREIRA ECOLÓGICA DO ARROIO DILÚVIO. Porto Alegre/RS. Disponível em: <http://ecobarreiradiluvio.com.br/>. Acesso em 21 de jul. 2024.

Emergency Events Database (EM-DAT). **CredCrunch 74**. 2024. Disponível em: <https://files.emdat.be/2024/04/CredCrunch74.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2024.

GEHLING, G. R. (2018). **Notas de aula da disciplina IPH 212 - Sistemas de Água e Esgotos**. 2018. Módulo 2. Disponível em: http://avasan.com.br/pdf/IPH_212_20182S-modulo2.pdf. Acesso em: 20 jun. 2020.

Governo do Estado do Rio Grande do Sul. **Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024**. 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2024.

IBGE. **Cidades. Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>. Acesso em: 20 jun. 2024.

JACOBI, Pedro Roberto. **Impactos socioambientais urbanos**: do risco à busca de sustentabilidade. Impactos socioambientais urbanos. Tradução. Curitiba, PR: Ed. UFPR, 2004.

Jornal do Comércio. **Porto Alegre gasta R\$ 27 milhões por ano com limpezas de bocas de lobo**, 2022. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/geral/2022/02/835443-porto-alegre-gasta-r-27-milhoes-por-ano-com-limpezas-de-bocas-de-lobo.htm. Acesso em: 20 jun. 2024.

LIMA, W. P. **Manejo de Água Pluvial Urbana**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

MARQUES, G. S. **Manejo de Águas pluviais**: estudo da rede drenagem e de soluções de baixo impacto na Região Administrativa Candangolândia. 2019. 85 f. Monografia (Projeto Final) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais**: Programa – 2040. 2012.

OICS. **A Ecobarreira flutuante do Arroio Dilúvio em Porto Alegre**. [S. l.], 2016.

Disponível em: https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/a-ecobarreira-flutuante-do-arroio-diluvio-em-porto-alegre_5f1a2645a13dfc0f75768f32. Acesso em: 11 jul. 2024.

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). **Mudança do Clima 2014**: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 1132 p.

PETROLI, P. A. **Armadilha para resíduos em bocas de lobo**. 2020. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre, 2020.

PMPA. **Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre**. Porto Alegre: Procempa, 2024.

Disponível em:

https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf. Acesso em: 14 mai. 2024.

PMPA. **Plano Municipal de Saneamento Básico**: Prognóstico, Objetivos e Metas, 2016.

Disponível em:

https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/sites/dmae/02_PMSB_Progn%C3%B3stico%20Objetivos%20e%20Metas_web.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

Revista Oeste. **Chuvas**: conheça o histórico das inundações no Rio Grande do Sul, 2024.

Disponível em: <https://revistaoeste.com/brasil/chuvas-conheca-o-historico-das-inundacoes-no-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 8 jul. 2024.

SCHUELLER, T. **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs**. 1987.

SILVA, Alisson Sauer da. **Ecobarreiras de baixo custo para retenção de resíduos sólidos em canais de macrodrenagem**. 2018. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

Sindicato dos Engenheiros do Rio Grande do Sul (SENGE-RS). **Muro da Mauá e o complexo sistema de proteção contra cheias da Capital. 2024**. Disponível em: https://senge.org.br/noticias/muro-da-maua-e-o-complexo-sistema-de-protecao-contra-cheias-da-capital/?doing_wp_cron=1720107954.7158041000366210937500. Acesso em: 27 jul. 2024.

SMAMAS. **Estudo de Impacto Ambiental do Arroio Moinho**. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2019.

SMSUrb. **Relatório de Monitoramento do Canal do Dilúvio**. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2020.

SNIS. **Diagnóstico Temático: Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas - Visão Geral**. Brasília, DF, 2022. Republicado em 2 fev. 2023. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/AGUAS_PLUVIAIS/REPUBLICACAO_DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AP_SNIS_2022.pdf. Acesso em: 27 jul. 2024.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007.

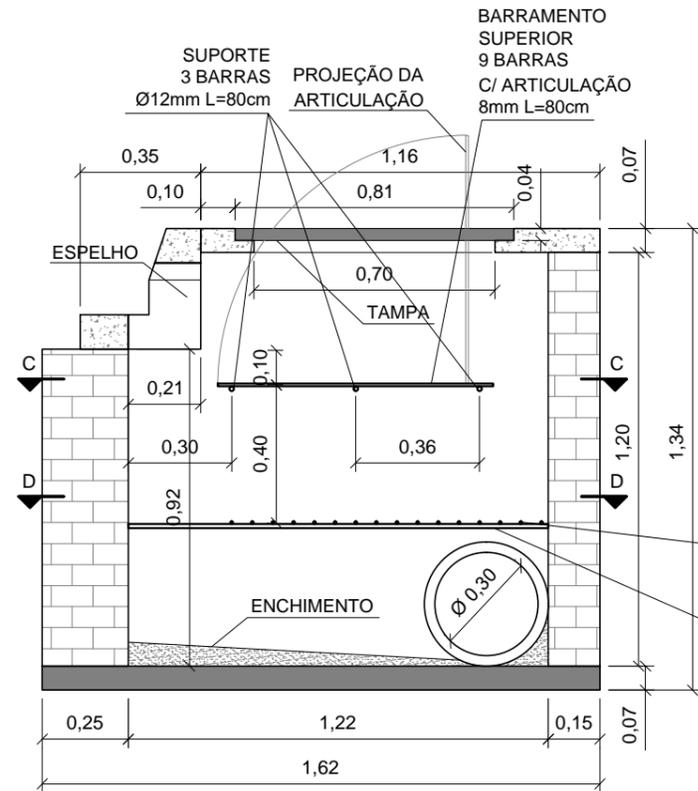
APÊNDICE A - Tabela das cotas máximas anuais do Lago Guaíba desde 1940 até 2024.

Ano	Praça da Harmonia (m)						
1940	2,1	1962	1,08	1983	2,32	2004	1,65
1941	4,75	1963	2,5	1984	2,6	2005	2,1
1942	2,22	1964	1,58	1985	2,07	2006	1,46
1943	1,98	1965	2,55	1986	1,81	2007	2,47
1944	1,87	1966	2,56	1987	2,37	2008	2,03
1945	1,39	1967	3,13	1988	2	2009	2,44
1946	1,74	1968	1,32	1989	1,99	2010	1,85
1947	1,74	1969	1,4	1990	2,24	2011	2,25
1948	1,75	1970	1,72	1991	1,61	2012	1,88
1949	1,79	1971	1,72	1992	1,94	2013	2,23
1950	1,69	1972	2,23	1993	2,1	2014	2,1
1951	1,59	1973	1,94	1994	2,05	2015	2,94
1952	1,63	1974	1,55	1995	2,05	2016	2,65
1953	2,13	1975	1,65	1996	1,65	2017	2,51
1954	2,42	1976	1,87	1997	1,98	2018	2,18
1955	1,47	1977	2,15	1998	1,99	2019	2,1
1956	1,78	1978	1,51	1999	1,51	2020	2,61
1957	1,99	1979	1,66	2000	1,88	2021	1,94
1958	1,89	1980	1,69	2001	2,42	2022	2,04
1959	2,05	1981	1,59	2002	2,52	2023	3,46
1960	1,8	1982	1,99	2003	2	2024	5,35
1961	1,94						

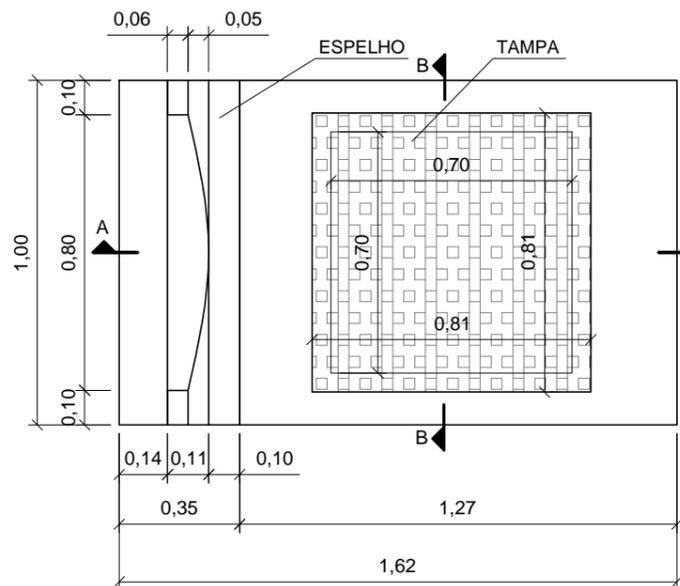
ANEXO A – Projeto da Armadilha para RS em BL de Petróli (2020)

OBSERVAÇÕES:

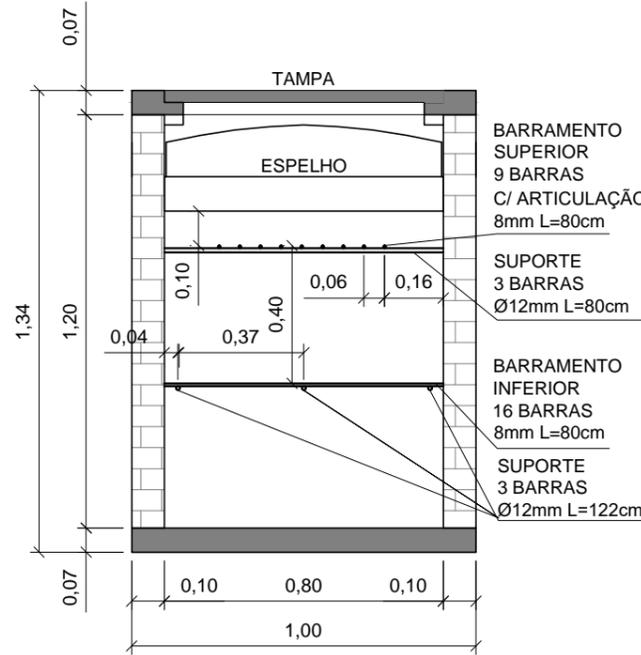
- COTAS EM METRO (m);
- ADAPTADO DO CADERNO DE ENCARGOS DO DEP-POA (2005);
- TAMPA EM FERRO FUNDIDO C/ ABERTURA ARTICULADA, PASSAGEM 700x700mm, TELAR 810x810mm, ALTURA 41mm, PESO 52,7kg, CAPACIDADE 12,5ton E SUPERFÍCIE ANTI DERRAPANTE



CORTE AA
1:50



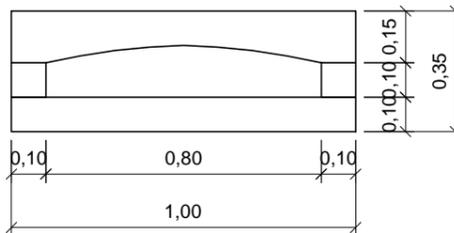
VISTA SUPERIOR
1:50



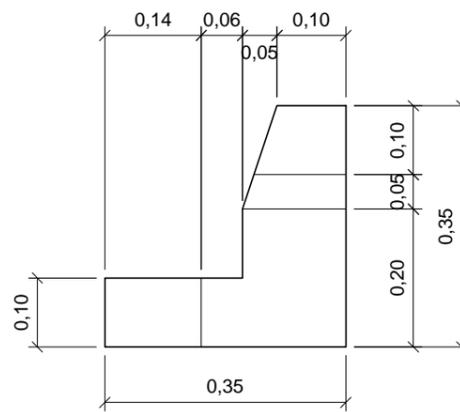
CORTE BB
1:50

BARRAMENTO INFERIOR
16 BARRAS
8mm L=80cm

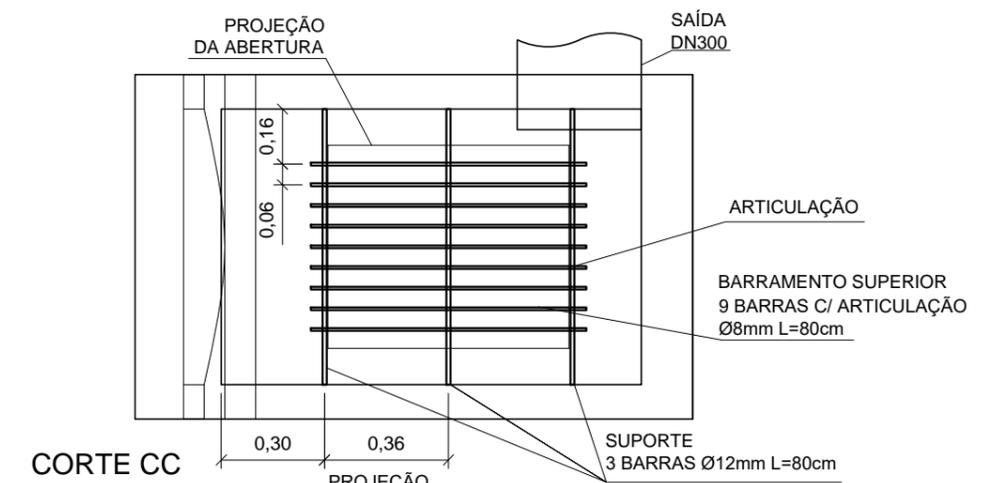
SUPORTE
3 BARRAS
Ø12mm L=122cm



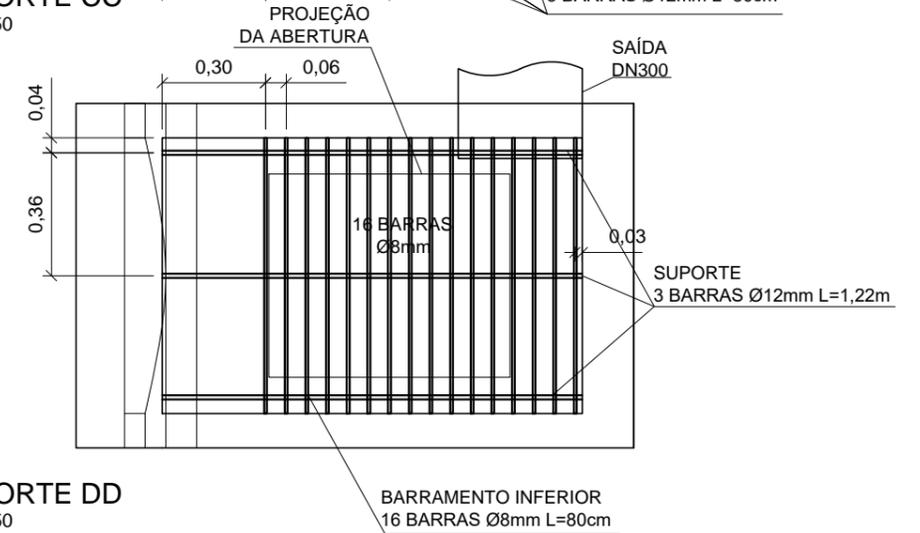
VISTA FRONTAL DO ESPELHO
1:50



VISTA LATERAL DO ESPELHO
1:25



CORTE CC
1:50



CORTE DD
1:50

PEÇAS A DETALHAR:

- FIXAÇÃO DAS BARRAS DE 8 mm
- FIXAÇÃO DAS BARRAS DE 12 mm
- ARTICULAÇÃO

TODAS AS FERRAGENS DA ARMADILHA SERÃO GALVANIZADAS A FOGO

A02	AJUSTES	GRG	15/07/2020
A01	INCLUSÃO DE ARMADILHA	GRG	13/07/2020
A00	EMISSÃO INICIAL	GRG	04/05/2020
REV.	ASSUNTO	RT	DATA

DESCRIÇÃO <p style="text-align: center;">BOCA DE LOBO C/ TAMPO E ARMADILHA</p>	ARQUIVO <p style="text-align: center;">ARMADILHA-A02</p>
PROFESSSIONAL <p style="text-align: center;">PEDRO AMADO PETROLI</p>	ESCALA <p style="text-align: center;">INDICADA</p>
	PRANCHA <p style="text-align: center;">01 / 01</p>