

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO  
PERNAMBUCANO – IF SERTÃO / CAMPUS SERRA TALHADA

MARCONE LOPES DOS SANTOS

IMPACTOS NA DRENAGEM URBANA REALIZADA POR PROJETOS  
IDEALIZADOS DO TIPO HIGIENISTA: UMA ABORDAGEM DE CAUSAS E  
EFEITOS.

SERRA TALHADA

2025

MARCONE LOPES DOS SANTOS

IMPACTOS NA DRENAGEM URBANA REALIZADA POR PROJETOS  
IDEALIZADOS DO TIPO HIGIENISTA: UMA ABORDAGEM DE CAUSAS E  
EFEITOS.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),  
apresentado à Coordenação do Curso Superior  
bacharelado em engenharia civil do Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do  
sertão pernambucano - IFSERTÃO *Campus*  
Serra Talhada, como requisito para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

ORIENTADOR:

Prof. Me. VICTOR GABRIEL ALVES DE SOUZA

SERRA TALHADA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

S237 Santos, Marccone Lopes dos.

Impactos na drenagem urbana realizada por projetos idealizados do tipo higienista: Uma abordagem de causas e efeitos. / Marccone Lopes dos Santos. - Serra Talhada, 2025.  
74 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Serra Talhada, 2025.

Orientação: Prof. Msc. Victor Gabriel Alves de Souza.

1. Engenharia civil. 2. Drenagem Urbana. 3. Enchentes. 4. Soluções Sustentáveis. 5. Modelo Higienista. I. Título.

CDD 624

---

Gerado automaticamente pelo sistema Geficat, mediante dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MARCONE LOPES DOS SANTOS

IMPACTOS NA DRENAGEM URBANA REALIZADAS POR PROJETOS  
IDEALIZADOS DO TIPO HIGIENISTA: UMA ABORDAGEM DE CAUSAS E  
EFEITOS.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),  
apresentado à Coordenação do Curso Superior  
bacharelado em engenharia civil do Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do  
sertão pernambucano - IFSERTÃO *Campus*  
Serra Talhada, como requisito para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 10 / 02 / 2025 .

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Me. VICTOR GABRIEL ALVES DE SOUZA – IF Sertão PE  
(Presidente – Orientador/a)

---

Prof. Me. VITOR HUGO DE OLIVEIRA BARROS - IF Sertão PE  
(1º Examinador – Membro Interno)

---

Dra. GÉRSICA MORAIS NOGUEIRA DA SILVA - SESC PE  
(2º Examinador – Membro Externo)

SERRA TALHADA

2025

Aos meus pais, minha esposa, meu filho e minhas irmãs, por todo amor incondicional, apoio constante e incentivo em cada etapa desta caminhada. A todos que cuja paciência, compreensão e presença foram fundamentais nos momentos de desafio. DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me conceder saúde, perseverança e sabedoria ao longo desta jornada!

Aos meus pais, que sempre acreditaram no meu potencial e me ofereceram amor, compreensão e apoio incondicional. Suas palavras de incentivo e seus exemplos de dedicação foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

A minha esposa por suportar a carga e os momentos de dificuldade junto comigo, pela compreensão e pelas palavras de incentivo.

Ao meu filho, que veio no momento e na hora certa, para me inspirar e encorajar-me diante das dificuldades, também para me trazer o seu sorriso mais lindo que papai já viu.

As minhas irmãs, pela torcida e pelos momentos de descontração que me ajudaram a recarregar as energias nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, assim como a todos os professores e mentores, que com sua sabedoria, dedicação e generosidade, me inspiraram a trilhar o caminho do conhecimento e a superar limites nesta jornada.

Aos meus amigos, que compartilharam comigo alegrias e desafios durante toda a graduação, e que me apoiaram de diversas formas, seja com palavras de encorajamento ou com uma simples companhia nos momentos de estudo.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Sem vocês, nada disso seria possível.

“Não desista de nada tenha fé, que Deus sempre estará do nosso lado, pode até seu corpo está deitado, mas a sua esperança está de pé, vista o pranto com o manto do sorriso, para que o bem seja liberto, no seu negativismo de desterro, que é errado pensar de mais no erro, quando a gente trabalha para dar certo.”

Bráulio Bessa

## RESUMO

A urbanização desordenada em cidades brasileiras tem causado diversos impactos na drenagem urbana, sendo Porto Alegre um exemplo significativo. Este estudo, de caráter bibliográfico e exploratório, teve como objetivo diagnosticar as principais vulnerabilidades dos sistemas de drenagem existentes do tipo higienista, nas cidades brasileiras, identificando as principais causas e efeitos de enchentes e alagamentos decorrentes de eventos extremos. Entre as propostas, destacam-se a implementação de infraestruturas verdes, valas de infiltração, trincheiras de infiltração, bacias de retenção e técnicas de pavimentação permeável como medidas para os sistemas estruturais sustentáveis. Tais medidas visam não apenas reduzir os alagamentos, mas também promover a infiltração e retenção das águas, contribuindo para um ciclo hidrológico mais equilibrado. A pesquisa enfatiza a importância de uma abordagem integrada, que considere tanto as soluções com técnicas estruturais, quanto as políticas públicas. A conscientização social e a participação comunitária são fundamentais para uma gestão eficaz das águas pluviais, minimizando os impactos das precipitações intensas. A adoção de práticas sustentáveis é crucial para mitigar problemas relacionados a eventos hidrológicos extremos, promovendo um desenvolvimento urbano mais resiliente e adaptável às mudanças climáticas. Os sistemas do tipo higienista predominante nos projetos de drenagem urbana, prioriza a rápida evacuação das águas pluviais sem levar em conta as interações ecológicas e sociais, estes, devem ser integrados a soluções mais sustentáveis de uso do solo e parcelamento do solo. Tal método tem se mostrado ineficaz diante das intensificações das precipitações e do crescimento desordenado das cidades. Portanto, uma transição para práticas de drenagem mais sustentáveis e integradas é essencial para enfrentar as mudanças climáticas e os desafios contemporâneos da urbanização e garantir a resiliência das cidades brasileiras. Estas medidas são imprescindíveis para que possamos ter cidades mais seguras e preparadas para as adversidades climáticas, assegurando o bem-estar de seus habitantes e preservando o meio ambiente.

**Palavras-chave:** drenagem urbana; enchentes; soluções sustentáveis; modelo higienista.

## ABSTRACT

The disorderly urbanization of Brazilian cities has caused several impacts on urban drainage, with Porto Alegre being a significant example. This study, of a bibliographic and exploratory nature, aimed to diagnose the main vulnerabilities of existing drainage systems of the hygienist type in Brazilian cities, identifying the main causes and effects of floods and inundations resulting from extreme events. Among the proposals, the implementation of green infrastructures, infiltration ditches, infiltration trenches, detention basins and permeable paving techniques stand out as measures for sustainable structural systems. Such measures aim not only to reduce flooding, but also to promote infiltration and retention of water, contributing to a more balanced hydrological cycle. The research emphasizes the importance of an integrated approach, which considers both solutions with structural techniques and public policies. Social awareness and community participation are essential for effective management of stormwater, minimizing the impacts of intense precipitation. The adoption of sustainable practices is crucial to mitigate problems related to extreme hydrological events, promoting urban development that is more resilient and adaptable to climate change. The hygienist-type systems that predominate in urban drainage projects prioritize the rapid evacuation of rainwater without taking into account ecological and social interactions; these must be integrated with more sustainable land use and land subdivision solutions. This method has proven ineffective in the face of increased rainfall and disorderly urban growth. Therefore, a transition to more sustainable and integrated drainage practices is essential to face climate change and the contemporary challenges of urbanization and to ensure the resilience of Brazilian cities. These measures are essential for us to have safer cities that are prepared for climate adversities, ensuring the well-being of their inhabitants and preserving the environment.

**Keywords:** urban drainage; flooding; sustainable solutions; hygienist model.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estrutura de microdrenagem.....	21
Figura 2: Macrodrenagem .....	21
Figura 3: Camadas que compõem o sistema de cobertura verde.....	26
Figura 4: Planta de Microrreservatório.....	27
Figura 5: Corte do Microrreservatório.....	27
Figura 6: Perfil Trincheira de Infiltração.....	31
Figura 7: Perfis de Trincheiras de Infiltração, na literatura.....	32
Figura 8: Tipos de valas de infiltração.....	34
Figura 9: Bacia de Detenção.....	35
Figura 10: Inundação no centro de Porto Alegre em 1941(A); Inundação no centro de Porto Alegre em 2024 (B).....	50
Figura 11: (A) Porto Alegre em fevereiro de 2024; (B) Porto Alegre em maio de 2024.....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Medidas Compensatórias da Drenagem Urbana. ....	24
Quadro 2: Vantagens e Desvantagens dos Microrreservatórios. ....	28
Quadro 3: Vantagens e desvantagens dos poços de infiltração. ....	30
Quadro 4: Vantagens e desvantagens das trincheiras de infiltração. ....	33
Quadro 5: Vantagens e Desvantagens das Bacias de Detenção e Retenção. ....	36
Quadro 6: Impactos e regulamentação sobre o escoamento pluvial. ....	38
Quadro 7: Aspectos das inundações ocorridas no estado do Rio Grande do Sul nos anos de 1941 e 2024. ....	57

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Municípios Brasileiros cadastrados no sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (DMAPU). .....	47
Gráfico 2: Municípios Brasileiros sem plano diretor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. ....	47
Gráfico 3: Infraestrutura de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. ....	48
Gráfico 4: Sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.....	49
Gráfico 5: Percentual de volume precipitação nos anos de 1941 e 2024.....	57

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização do Brasil.....	41
Mapa 2: Bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul.....	51
Mapa 3: Sistema de proteção e contenção contra enchentes na cidade de Porto Alegre.....	52
Mapa 4: Rios que desaguam no lago do Guíba. ....	54
Mapa 5: Estreito do Lago do Guaíba.....	55
Mapa 6: Encontro dos principais rios da Bacia do Guaíba.....	61
Mapa 7: População dos municípios que integra a Bacia do Guaíba. ....	61
Mapa 8: Bacia Hidrográfica do Guaíba. ....	62

## **LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ONU - Organização das Nações Unidas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

SUDS - Sistema de Drenagem Urbana Sustentável

SWMM - Modelo de Gerenciamento de Águas Pluviais

DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto

DEP - Departamento de Esgotos Pluviais

DMAPU - Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1.	Problematização.....	15
1.2.	Objetivos.....	16
1.2.1.	Objetivo Geral.....	16
1.2.2.	Objetivos Específicos .....	16
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1.	Desenvolvimento urbano .....	17
2.1.1.	Plano diretor urbano .....	18
2.2.	Saneamento básico urbano .....	19
2.2.1.	Drenagem Urbana .....	19
2.2.1.1.	Drenagem Urbana Tradicional .....	20
2.2.1.2.	Drenagem Urbana Sustentável .....	22
2.2.1.3.	Plano diretor de drenagem urbana .....	23
2.2.1.3.1.	Medidas Compensatórias não estruturais.....	24
2.2.1.3.2.	Medidas Compensatórias Estruturais.....	25
2.3.	Impactos da drenagem urbana.....	37
2.3.1.	Eventos Extremos Climáticos.....	39
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
3.1.	Área de estudo.....	40
3.2.	Caracterização da pesquisa.....	41
3.3.	Etapas e procedimentos.....	42
3.3.1.	Etapa 1: Revisão de Literatura – Palavras-chaves (Desenvolvimento urbano, drenagem urbana, impactos da drenagem urbana).....	42
3.3.2.	Etapa 2: Identificar o modelo, características e vulnerabilidades de projetos higienistas aplicados a drenagem urbana utilizados nas cidades brasileiras.....	42
3.3.3.	Etapa 3: Avaliar o cenário nacional das cidades no âmbito da drenagem e manejo das águas pluviais urbana.....	43
3.3.4.	Etapa 4: Analisar as causas e os efeitos das inundações no estado do Rio Grande do Sul no ano de 1941 e 2024, com foco na capital Porto Alegre.....	43
3.3.5.	Etapa 5: Propor aplicações de técnicas e tecnologias sustentáveis, eficientes e segura para os projetos de drenagem urbana afim de controlar e mitigar os problemas relacionados as enchentes e alagamentos no futuro.....	44
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>45</b>

<b>4.1.</b>	Modelo, características e vulnerabilidades de projetos higienistas aplicados a drenagem urbana utilizados nas cidades brasileiras.....	45
<b>4.2.</b>	Cenário nacional das cidades no âmbito da drenagem e manejo das águas pluviais urbana.....	46
<b>4.3.</b>	Causas e os efeitos das inundações no estado do rio grande do sul no ano de 1941 e 2024, com foco na capital porto alegre.....	49
4.3.1.1.	Enchente de 1941.....	51
4.3.1.2.	Enchentes de 2024.....	53
4.3.1.3.	Comparação entre 1941 e 2024.....	56
4.3.1.4.	Plano de drenagem urbana de porto alegre: avaliação crítica.....	59
4.3.1.5.	Possíveis soluções além do sistema existente.....	60
<b>4.4.</b>	Aplicações de técnicas e tecnologias sustentáveis, eficientes e segura para os projetos de drenagem urbana afim de controlar e mitigar os problemas relacionados as enchentes e alagamentos no futuro.....	64
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>66-67</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68-74</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As projeções da ONU (Organização das Nações Unidas) em 2022, indicam que 55% da população global já reside em áreas urbanas, previsão que cresce para 68% até 2050. Na América Latina e Caribe, esse percentual é de 81%, chegando a 85% no Brasil. A urbanização intensificada tende a impermeabilizar o solo, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a infiltração de águas pluviais. Esse cenário sobrecarrega e torna mais robustas as estruturas hidráulicas, que são dimensionadas com base em chuvas de projeto, representações simplificadas do histórico de precipitações com um risco de ocorrência definido.

O modelo de gerenciamento da infraestrutura e parcelamento do solo utilizado nas cidades brasileira não ajuda o sistema de projeto de drenagem utilizados no Brasil. Rodriguez *et al.* (2023, p. 162) afirma que “o processo de urbanização das cidades baseado na impermeabilização excessiva do solo promove um ambiente urbano com baixa capacidade de manejo das águas pluviais, e com episódios recorrentes de alagamentos e enchentes”.

As inundações nas áreas urbanas trazem diversos desafios que afetam os setores sociais, econômicos e ambientais, de forma que é indispensável desenvolver cidades mais resistentes e sustentáveis.

Quando planejadas e administradas, as cidades criam valor, que é a soma dos resultados econômicos, sociais, ambientais e intangíveis (institucionais, de governação, percepção política, cultural e cívica) que têm a capacidade de aprimorar a qualidade de vida dos residentes em maneiras significativas e visíveis (UN-HABITAT, 2020).

### 1.1. Problematização

Com o passar de algumas décadas pôde-se observar que as mudanças climáticas vêm ocorrendo significativamente, gerando assim uma série de problemas adversos ao meio ambiente e a sociedade, catástrofes relacionadas as chuvas se tornam cada vez mais frequentes, no Brasil a urbanização descontrolada das cidades, tem provocado agravamento das enchentes naturais e a ampliação de sua frequência, além de criar novos pontos de alagamento devido à falta de planejamento e de infraestrutura urbana.

Os modelos de projetos de drenagem urbana tradicionais ou a forma como são utilizados, talvez já não sejam mais suficientes para evitar tais problemas, a busca por tecnologias, técnicas e estudos aprimorados, se tornam essenciais para tentar solucionar tais problemas evitando impactos severos ao meio ambiente e a sociedade.

As cidades são um dos maiores desafios do século XXI, uma vez que surgem oportunidades e problemas críticos à medida que a população se concentra cada vez mais nas áreas urbanas. O clima, o desenvolvimento urbano, as práticas de engenharia e outros fatores socioeconômicos aumentam a vulnerabilidade das infraestruturas hídricas aos riscos naturais (PIAZZA; URSINO, 2022). Neste contexto o planejamento, gerenciamento do uso do solo e os projetos de drenagem urbana, idealizados de forma higienista ainda são eficientes e eficazes aos riscos naturais?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo Geral

✓ Diagnosticar os possíveis impactos na drenagem urbana aplicadas as cidades brasileiras por projetos de engenharia idealizados de forma tradicional desde a concepção da expansão urbana, do parcelamento do solo, da infraestrutura urbana e do sistema de drenagem.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

✓ Identificar o modelo, características e vulnerabilidades de projetos higienistas aplicados a drenagem urbana utilizados nas cidades brasileiras.

✓ Avaliar o cenário nacional das cidades no âmbito da drenagem e manejo das águas pluviais urbana.

✓ Analisar as causas e os efeitos das inundações no estado do Rio Grande do Sul no ano de 1941 e 2024, com foco na capital Porto Alegre.

✓ Propor aplicações de técnicas e tecnologias sustentáveis, eficientes e segura para os projetos de drenagem urbana afim de controlar e mitigar os problemas relacionados as enchentes e alagamentos no futuro.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Desenvolvimento urbano

Em termos gerais o espaço urbano, é o conjunto de diferentes usos da terra, que estão relacionados entre si. Esses usos definem áreas como o centro da cidade, que concentra atividades comerciais, de serviço e de gestão; as áreas industriais e as residenciais, que apresentam características distintas em termos de forma e conteúdo social; as áreas de lazer e, por fim, aquelas que serão reservadas para futuras expansões. O conjunto de usos da terra é o resultado da organização espacial da cidade ou simplesmente do espaço urbano fragmentado (CORRÊA, 1995).

Nos últimos anos, o Brasil experimentou profundas alterações no seu desenvolvimento urbano, influenciado pelo crescimento acelerado, acompanhado pelo aumento significativo das carências de infraestrutura (saneamento básico, iluminação e difícil acesso às moradias) e pela degradação ambiental. É importante que os centros urbanos tenham um gerenciamento integrado, uma vez que a qualidade de vida só é possível se o ambiente estiver bem cuidado, garantindo a harmonia entre humanidade e natureza.

Para Tucci (2008), os principais elementos da estrutura de gestão da cidade são os seguintes:

- I. **Planejamento e gestão do uso do solo:** Deve funcionar por meio do Plano Diretor Urbano, da forma como a cidade será ocupada e das correções necessárias em relação ao cenário atual.
- II. **Infraestrutura viária, água, energia, comunicação e transporte:** O planejamento e a gestão desses componentes, podem ser de responsabilidade pública ou privada, mas devem ser regidos pelo município.
- III. **Gestão socioambiental:** A gestão do meio ambiente urbano é realizada por entidades municipais, estaduais ou federais de acordo com a estrutura organizacional estabelecida. É composta por avaliação e aprovação de projetos, acompanhamento, fiscalização e pesquisa com o objetivo de assegurar o desenvolvimento urbano de forma socioambientalmente sustentável.

### 2.1.1. Plano diretor urbano

O plano diretor urbano é um instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana, com ele o objetivo é indicar a forma de desenvolvimento do município, delineando as diretrizes e as estratégias de planejamento, com o objetivo de alcançar o pleno desenvolvimento econômico, social e físico do território.

A Lei 10.257/01, em seu art. 4º, enumera diversos instrumentos de política urbana municipal capazes de garantir o desenvolvimento e planejamento político e urbano das cidades. Dentre os que compõe o rol, porém, não há dúvida de que o Plano Diretor, previsto nos artigos 39, 40, 41 e 42 é o instrumento de maior destaque e relevância, por se revestir de base das políticas urbanas (DECARLI; FERRAREZI FILHO, 2008, p39).

Esta Lei que representa o estatuto das cidades, regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana, em seu art. 42º, estabelece que o plano diretor deverá conter no mínimo:

- I. A delimitação das áreas urbanas onde poderá ser aplicado o parcelamento, edificação ou utilização compulsórios, considerando a existência de infraestrutura e de demanda para utilização.
- II. disposições requeridas pelos arts. 25º, 28º, 29º, 32º e 35º.
- III. sistema de acompanhamento e controle.

O Estatuto da cidade ainda estabelece que além do que está previsto no artigo 42º, o plano diretor dos municípios que estão no cadastro nacional de municípios com áreas de risco para deslizamentos de grande impacto, inundações repentinas ou processos geológicos ou hidrológicos relacionados, deverá conter:

- I. parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo a promover a diversidade de usos e a contribuir para a geração de emprego e renda;
- II. mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;

III. planejamento de ações de intervenção preventiva e realocação de população de áreas de risco de desastre;

IV. medidas de drenagem urbana necessárias à prevenção e à mitigação de impactos de desastres;

V. diretrizes para a regularização fundiária de assentamentos urbanos irregulares, se houver, observadas a Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009, e demais normas federais e estaduais pertinentes, e previsão de áreas para habitação de interesse social por meio da demarcação de zonas especiais de interesse social e de outros instrumentos de política urbana, onde o uso habitacional for permitido; e

VI. identificação e diretrizes para a preservação e ocupação das áreas verdes municipais, quando for o caso, com vistas à redução da impermeabilização das cidades.

## **2.2. Saneamento básico urbano**

De acordo com as diretrizes estabelecida pela lei brasileira de saneamento básico nº 11.445 de janeiro 2007, os serviços de saneamento básico municipal devem ser compreendidos como: Abastecimento de água potável, coleta de esgoto sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais e coleta de resíduos sólidos urbanos.

A drenagem e manejo das águas pluviais urbanas de acordo com a lei, é um conjunto de atividades constituídas por: Infraestrutura, instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes.

### **2.2.1. Drenagem Urbana**

A drenagem urbana deve ser entendida de acordo com a seguinte hierarquia:

- A drenagem na fonte corresponde à drenagem do empreendimento dentro de parcelamento existente, ou seja, lotes, praças, parques e etc.
- A microdrenagem envolve a drenagem de novos parcelamentos, dentro do perímetro urbano.

- A macrodrenagem corresponde ao projeto de drenagem de áreas significativas (> 1 km<sup>2</sup>) da cidade com vários coletores.

#### 2.2.1.1. Drenagem Urbana Tradicional

Para Tucci, (2008, p. 100) “o abastecimento de água de fontes seguras e a coleta de esgoto, com despejo a jusante (sem tratamento) do manancial da cidade, tiveram como finalidade evitar doenças e seus efeitos, mas acabaram transferindo os impactos para jusante”. Essa fase é chamada de higienista que permaneceu em evidência até a década de 1970, o desafio dos centros urbanos era evitar a proliferação de doenças, onde as condições sanitárias da própria população causavam poluição dos corpos hídricos de abastecimento.

Na maioria das cidades brasileiras, essas técnicas convencionais de drenagem urbana são amplamente empregadas adotando assim um conceito higienista que se previa a rápida evacuação das águas pluviais através de áreas impermeabilizadas e sistemas de condutos artificiais. Souza (2013, p. 59) fala que:

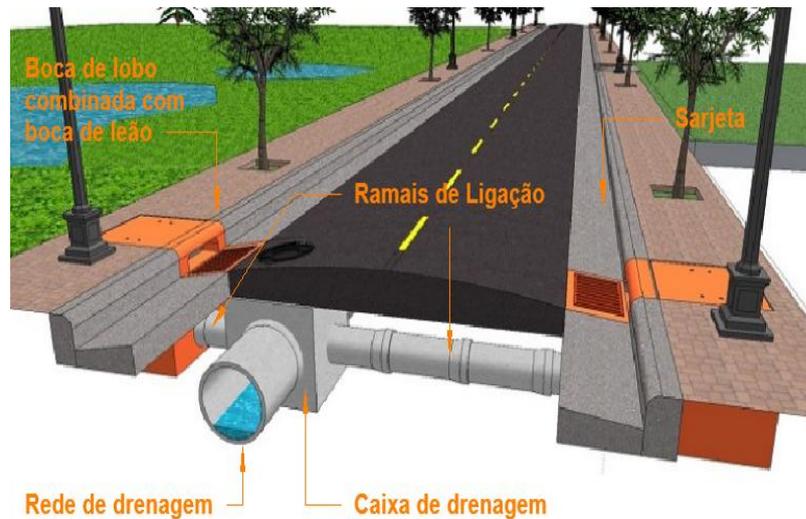
Os sistemas de drenagem urbana no Brasil sempre se basearam na busca do sistema hidraulicamente mais eficiente. Focado em uma visão higienista, a noção do saneamento (no sentido de tornar o ambiente são) representa a necessidade de “sempre drenar”, criando estruturas de micro e macrodrenagem para conduzir a água para fora das cidades.

O sistema de drenagem urbana e manejo das águas pluviais tradicionais podem ser classificados e analisados de acordo suas extensões:

- **Microdrenagem**, que se refere a captação e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas por meio de galerias de pequeno e médio porte ( $\varnothing < 1,5$  m).

Para Simões et. al. (2019, p.19), “o sistema de microdrenagem, drena vazões e volumes provenientes de pequenas áreas urbanizadas, ou seja, sub-bacias com superfície da ordem de até 1 hectare”. O sistema é composto por vias, sarjetas, bocas de lobo, tubos e conexões e poços de visita.

Figura 1: Estrutura de microdrenagem.



Fonte: Adaptado de ASSEMAE, 2015.

- **Macro drenagem,** engloba toda a microdrenagem, assim como todas as galerias de grande porte ( $\varnothing > 1,5\text{m}$ ) e os elementos receptores como canais e rios canalizados. Como aponta Simões *et al.* (2019, p.19), “o sistema de macrodrenagem é responsável pela drenagem de vazões mais significativas, provenientes de áreas de drenagem maiores, ou seja, sub-bacias com superfície da ordem de alguns hectares a alguns  $\text{km}^2$ ”. Tal sistema é composto pelas galerias pluviais, cursos d’água sejam eles (córregos, ribeirões, riachos etc.), canalizados ou não, bueiros, pontes, etc.

Figura 2: Macro drenagem



Fonte: Guedes, 2023.

De acordo com Tucci (1997), as restrições e métodos aceitos no dimensionamento da drenagem urbana nas cidades deve especificar os critérios e os métodos básicos aceitos para a avaliação da regulamentação. Isto envolve, entre outros:

- I. Definição do tempo de retorno para o qual a vazão não pode ser ampliada.
- II. Definição do tempo de retorno de segurança das obras.
- III. Determinação do escoamento superficial direto, controle sobre erosão, a jusante de obras de retenção, se o canal for sem revestimento.
- IV. Determinação de vazões de projeto.
- V. Dimensionamento das estruturas hidráulicas.
- VI. Definição de critério para a manutenção.

#### 2.2.1.2. Drenagem Urbana Sustentável

A população global deverá crescer de forma rápida nas próximas décadas e grande parte desse crescimento será em áreas urbanas. Aplicações de medidas de controle as águas pluviais são implantadas em áreas urbanas para diminuir o escoamento das bacias hidrográficas, aumentar a infiltração e recarga das águas subterrâneas (ALAMDARI; TERRI S. 2022). Assim Tucci (2012, p. 23) afirma que:

Na drenagem urbana, as medidas sustentáveis de controle tratam de reter o escoamento na fonte, no loteamento ou na macrodrenagem por meio de infiltração ou armazenamento. Dessa forma, evita-se a transferência para jusante dos impactos. Para que essas medidas sejam adotadas, são necessárias legislações municipais que contenham o aumento do escoamento. Esta é uma prática que os países desenvolvidos implementaram desde os anos 1970 e a literatura internacional apresenta grande número de práticas sustentáveis sobre o assunto.

Portanto, o surgimento de novas técnicas visa evitar problemas relacionado a drenagem urbana tradicional. Buscam em sua maioria o controle na fonte sem que transfiram os impactos para jusante, tomando como base a importância da infiltração da água no solo, e o seu armazenamento na fonte geradora do escoamento.

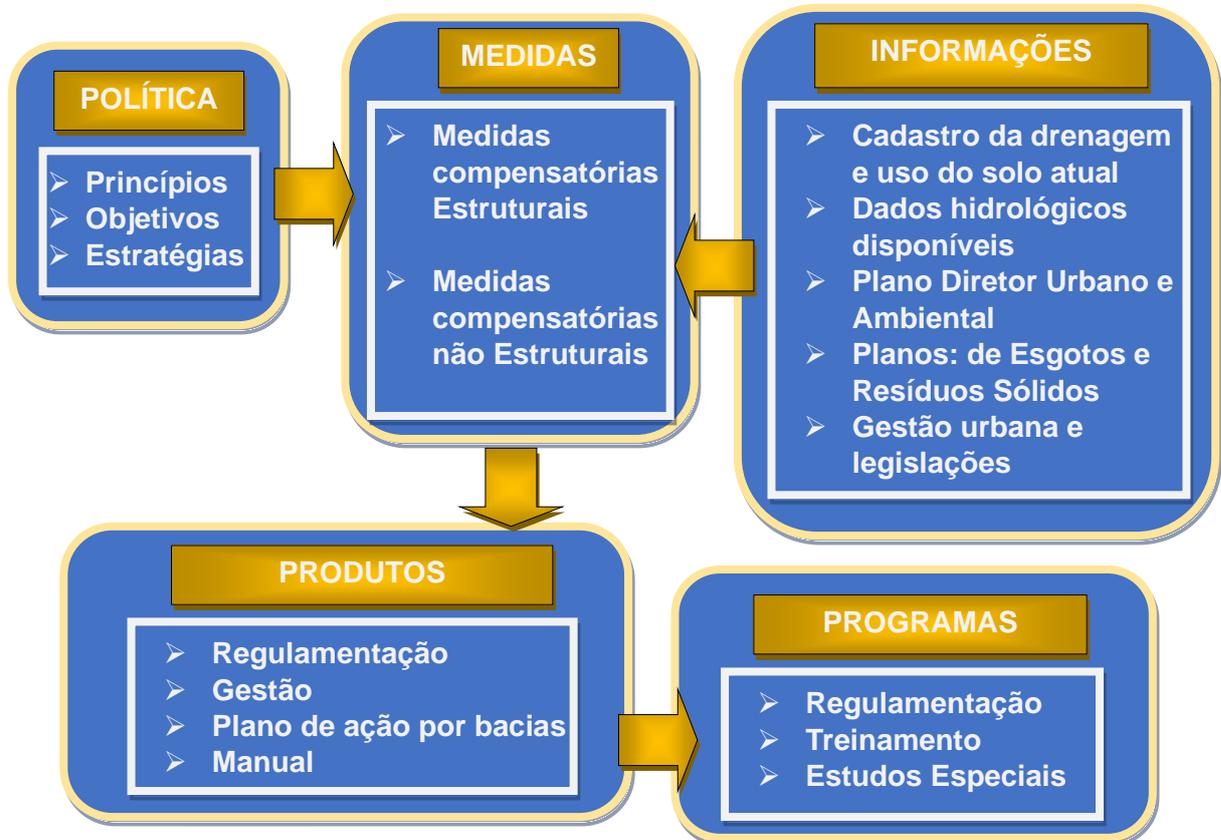
Os processos naturais de infiltração e evapotranspiração podem ser obtidos com a construção de técnicas sustentáveis que compensam os impactos da expansão urbana. Com isto, Tucci (2012, p. 29), destaca que:

As regulamentações mais atuais buscam uma solução ambientalmente sustentável para os novos empreendimentos, seja em nível de lote, seja em loteamento. Para atingir esse objetivo é necessário o gerenciamento integrado da infraestrutura urbana, iniciando-se pela definição da ocupação do espaço com preservação das funções naturais, como a infiltração, a evapotranspiração e a rede natural de escoamento.

### 2.2.1.3. Plano diretor de drenagem urbana

De acordo com Tucci (2012, p. 26), “O Plano Diretor de Drenagem Urbana é o instrumento de gestão das águas pluviais na cidade. Este plano deve ser desenvolvido com interfaces com os outros planos da cidade tanto no saneamento quanto no Plano de Diretor Urbano”. E afirma que o plano diretor de drenagem urbana possui a seguinte estrutura:

Fluxograma 1: Estrutura do plano diretor de drenagem urbana.



De acordo com o gráfico acima as medidas compensatórias da drenagem urbana dividem-se em dois grupos: medidas compensatórias não estruturais e estruturais, conforme a Tabela 1, a seguir:

Quadro 1: Medidas Compensatórias da Drenagem Urbana.

<b>Medidas compensatórias não estruturais</b>	<b>Legislação</b>	
	<b>Racionalização do uso do solo urbano</b>	
	<b>Educação ambiental</b>	
	<b>Tratamento de fundo de vale</b>	
<b>Medidas compensatórias estruturais</b>	Bacias	<b>Detenção e Retenção</b>
		<b>Infiltração</b>
	Obras lineares	<b>Trincheiras</b>
		<b>Valas e Valetas de detenção</b>
		<b>Pavimentos permeáveis</b>
	Obras pontuais	<b>Poços de infiltração</b>
		<b>Telhados Verdes</b>
<b>Microrreservatórios</b>		

Fonte: Autoral, 2024.

Essas medidas institucionais tem a função de evitar impactos futuros, tanto no âmbito ambiental como econômico e social, mitigando os efeitos naturais das chuvas na drenagem urbana, também servem para gerenciar o plano diretor de drenagem urbana.

#### 2.2.1.3.1. Medidas Compensatórias não estruturais

Para Tucci, 2012 essas medidas não estruturais basicamente são:

- Legislação para controle dos impactos devido ao desenvolvimento sobre o sistema de rios urbanos.
- Gerenciamento municipal para drenagem urbana e controle dos impactos.

Tais medidas desempenham um papel fundamental no combate às inundações. Com abordagens inovadoras que buscam equilibrar os efeitos das atividades humanas, minimizando os impactos negativos da urbanização sobre o ciclo natural da água. Essas medidas mais detalhadas podem ser:

- 1) **Regulamentação do Uso e Ocupação do Solo:** Estabelecer normas e regulamentos para o uso do solo, considerando a drenagem adequada e a preservação dos recursos hídricos.
- 2) **Educação Ambiental:** Conscientizar a população sobre o controle da poluição difusa, erosão e descarte inadequado de lixo, promovendo práticas sustentáveis.
- 3) **Seguro-Enchente:** Implementar sistemas de seguro que ajudem a mitigar os danos causados por inundações.
- 4) **Sistemas de Alerta e Previsão de Inundações:** Desenvolver sistemas eficientes para alertar a população sobre riscos de enchentes e prever eventos climáticos extremos.

#### 2.2.1.3.2. Medidas Compensatórias Estruturais

As alternativas compensatórias de infiltração sustentável buscam-se evitar a construção de coletores e emissários cada vez mais longos, de diâmetros maiores e com custos de implantação elevados para o setor público. É importante ressaltar que, antes de implementar qualquer sistema de infiltração, é necessário realizar análises rigorosas de engenharia para avaliar os possíveis riscos, tais como erosão interna, colapso estrutural do solo e redução da capacidade de suporte (CARVALHO et. al., 2012).

As medidas compensatórias estruturais na área de drenagem urbana envolvem intervenções físicas nas áreas afetadas. Essas ações visam controlar o escoamento das águas pluviais e minimizar os impactos negativos da urbanização sobre o ciclo natural da água. Essas técnicas podem ser:

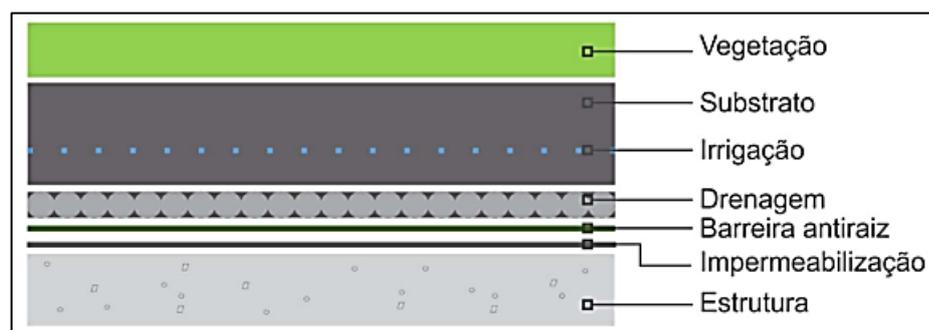
## 1) Telhado Verde:

De acordo com Guia de Coberturas Verdes (2021, p. 4), as “coberturas verdes consistem no desenvolvimento de um revestimento vegetal, sobre uma superfície edificada, cultivado de forma intencional ou através da formação de habitats para que este se auto estabeleça”.

Os telhados verdes desempenham um papel crucial na mitigação dos impactos da urbanização nas cidades. À medida que áreas verdes são substituídas por asfalto e concreto, o solo perde sua capacidade de absorver umidade, resultando em elevação da temperatura ambiente e maior necessidade de sistemas artificiais de refrigeração. A implementação de coberturas verdes em residências pode reduzir significativamente a temperatura interna, melhorar a qualidade do ar e contribuir para a sustentabilidade. Além disso, os telhados verdes combatem as ilhas de calor, reduzem o escoamento superficial e promovem a conscientização sobre a importância da preservação ambiental.

As coberturas verdes são compostas pela seguinte estrutura:

Figura 3: Camadas que compõem o sistema de cobertura verde.



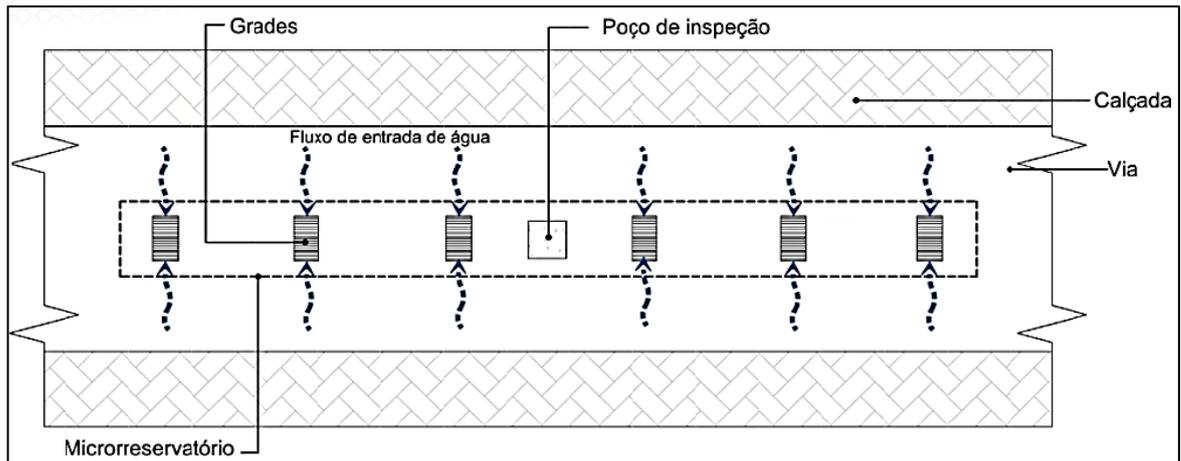
Fonte: Green Roofs for Healthy Cities, 2016, apud Guia de Coberturas verdes, 2021.

## 2) Microrreservatório:

Os microrreservatórios desempenham um papel crucial na atenuação dos picos de volume de água causados pela chuva. Eles funcionam como dispositivos de retenção, permitindo a recuperação da capacidade de retenção perdida nas bacias hidrográficas devido à impermeabilização do solo. Além disso, esses dispositivos também têm a função de controlar alagamentos pontuais. Onde podem ser

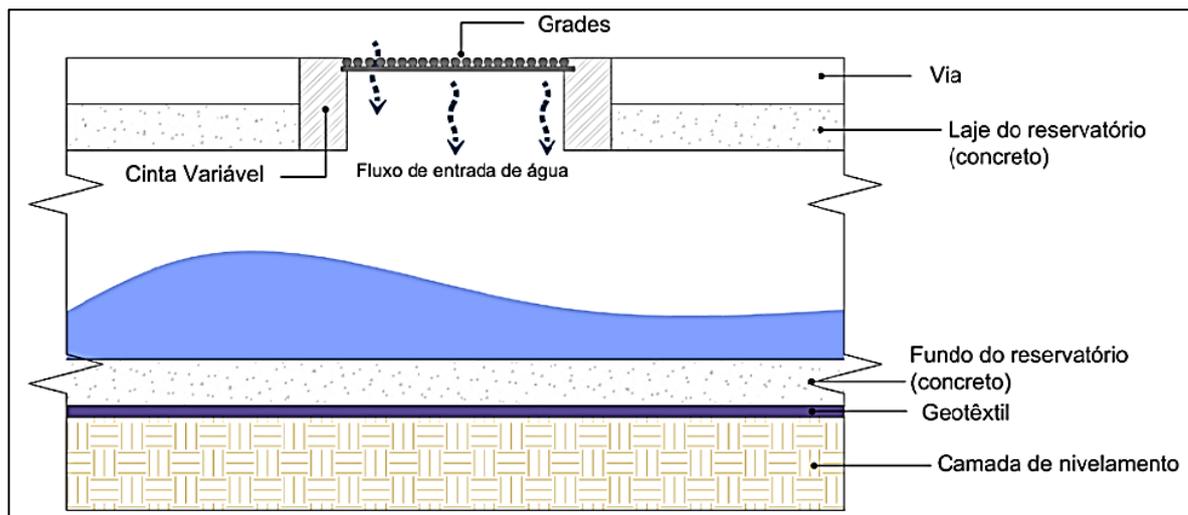
implantado ruas e avenidas com pontos de alagamento críticos, condomínios residenciais, conjuntos habitacionais, edifícios comerciais; grandes pátios de estacionamento, dentro do próprio lote, sejam estes comerciais, residenciais ou públicos (SOLUÇÕES PARA CIDADES, 2013).

Figura 4: Planta de Microrreservatório.



Fonte: Soluções para Cidades, 2013.

Figura 5: Corte do Microrreservatório.



Fonte: Soluções para Cidades, 2013.

As vantagens e desvantagens dos microrreservatórios estão descritos na tabela abaixo:

Quadro 2: Vantagens e Desvantagens dos Microrreservatórios.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Se projetados para armazenar um volume morto possibilitam a utilização deste volume de água para outros fins, como: proteção contra fogo, irrigação de jardins e praças e limpeza de ruas;	Têm custo de implantação relativamente alto, por serem estruturas subterrâneas;
Armazenam o escoamento superficial direto, contribuindo para o abatimento do pico de cheia, aliviando o sistema de drenagem a jusante;	Deve-se garantir fácil acesso ao seu interior para que se possa realizar a manutenção periódica.
Por serem subterrâneos, causam pouca interferência no uso e ocupação do solo urbano.	

Fonte: Adaptado de Soluções para Cidades, 2013.

### 3) Poço de Infiltração:

Os poços de infiltração são estruturas enterradas com paredes de tijolos, concreto com furos, pneus ou qualquer outro material resistente que suporte a pressão externa do solo. Esses poços têm como objetivo atenuar os efeitos do escoamento superficial direto. Funcionam como sistemas que detêm a água e facilitam sua infiltração no solo.

Durante períodos de chuva, a água da região ao redor flui para dentro do poço e fica armazenada para infiltrar gradualmente no solo, tanto pelo fundo quanto pelas laterais. O dimensionamento desses poços deve considerar a capacidade de infiltração do solo local.

Os poços de infiltração são sistemas localizados que dependem das características do solo e do nível do lençol freático. A execução desses sistemas, como os poços, tem um impacto menor na estrutura do solo, uma vez que ele já está naturalmente adaptado para lidar com variações de umidade. No entanto, a implementação de sistemas de infiltração mais profundos requer análises detalhadas

(CARVALHO *et al.*, 2012). Ainda cita que, um sistema de poços completo para ser instalado em subsolo de edifício tem as características descritas como:

I. Revestimento dos poços de infiltração com manta geotêxtil, que serve como filtro em ambas as direções. Essa manta é posicionada na interface entre o solo e o revestimento do poço.

II. Revestimento dos poços de infiltração pode ser feito com tubos de concreto pré-moldados e perfurados, tijolos assentados em crivo ou até mesmo pneus usados. Essas opções são indicadas para lotes com poucos poços, pois são sistemas de fácil execução e amplamente conhecidos. Quando o poço não é revestido, é recomendável preenchê-lo com material de alta capacidade de armazenamento e drenagem. No mercado, já existem produtos manufaturados com alto índice de vazio (superior a 97%), feitos de polipropileno não prejudicial ao meio ambiente.

III. Para os poços revestidos deve ser colocada uma camada de material granular colocada no fundo do poço.

IV. O posicionamento e a profundidade de assentamento do poço devem ser planejados de forma a proteger a integridade das estruturas dos edifícios vizinhos, especialmente os arrimos e as fundações. Isso deve levar em consideração as características do solo, a base do poço e a área afetada pela infiltração.

V. Utilizar um conjunto de motobomba para bombear o excedente de água, e um sistema extravasor para que entre em ação em caso de falha do sistema de motobomba. Sempre que viável, o sistema extravasor deve operar por gravidade, direcionando o volume excedente para o sistema de drenagem convencional por meio de um coletor conectado à rede pública de águas pluviais.

VI. Um sistema de boia com acionamento automático, localizado próximo ao enchimento do poço, permite o encaminhamento dos fluxos por meio de um sistema by-pass quando o nível atinge um ponto crítico.

VII. Instalação de dispositivo de visita para manutenção e inspeção.

Como todas as estruturas de infiltração ajudem no controle da drenagem urbana na fonte, os poços de infiltração também apresentam vantagens e desvantagens com sua utilização. Como mostrado na tabela a seguir:

Quadro 3: Vantagens e desvantagens dos poços de infiltração.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Diminuição das cheias, pela redução dos caudais e volumes à jusante	Necessidade de planejamento antecipado para o uso da técnica em áreas de dimensões consideráveis, pois a ocupação de espaço constitui uma das desvantagens do sistema de controle na fonte
Promoção da infiltração, reduzindo a necessidade de ampliação das redes existentes ou de novas redes de drenagem no sistema convencional	
Descentralização do sistema de drenagem pluvial	Preocupação com a manutenção do sistema para manter sua eficiência e vida útil
Melhoria na qualidade dos corpos hídricos, ou seja, do meio receptor	
Aumento da recarga do lençol freático	Interferência em estruturas vizinhas devido à percolação de água no solo
Valorização da paisagem urbana quando implantados em zonas de múltiplo uso através dos espelhos d'água, bacias de retenção ou detenção, entre outros	Risco de contaminação do lençol freático
Redução da propagação de poluentes e materiais sólidos	Risco de erosão interna capaz de provocar subsidências de grandes dimensões.

Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.*, 2012.

#### 4) Trincheira de Infiltração:

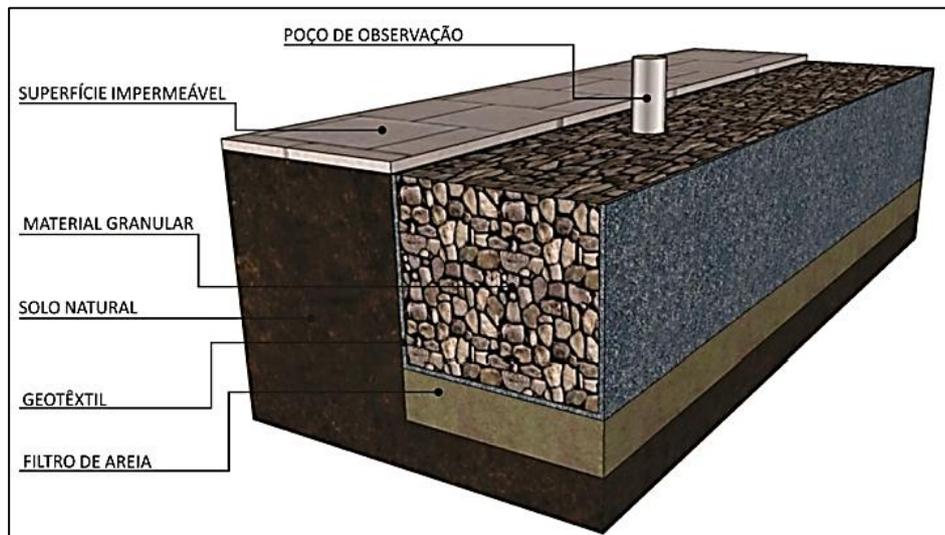
As trincheiras de infiltração são elementos de drenagem do tipo controle na fonte, projetadas ao longo de superfícies impermeáveis, com o objetivo de amortecer os volumes superficiais. Essas trincheiras têm como princípio de funcionamento o armazenamento temporário da água até que ela se infiltre no solo.

Apresentam uma dimensão longitudinal significativa em relação à sua largura e profundidade onde o seu principal objetivo é recolher as águas pluviais que escoam perpendicularmente ao seu comprimento, ou seja, ao solo, onde controla e minimiza o escoamento superficial das águas pluviais urbanas. Essa técnica pode ser aplicada ao longo das vias públicas (captando a água que cai sobre o pavimento antes que chegue à rede), estacionamentos, terrenos esportivos, passeios e áreas verdes em geral. Não existe um padrão estrutural e de dimensionamento das

trincheiras de infiltração, mas são geralmente longas, moderadamente largas e de dimensões rasas. Elas são preenchidas com uma camada de areia e cascalho grosso para preenchimento da vala, coletam o escoamento de áreas pavimentadas adjacentes e infiltram a água no aquífero (CHAHAR, GRAILLOT E GAUR, 2012).

Segundo Melo, (2015, p. 24) “São áreas escavadas preenchidas por material granular do tipo brita ou seixos rolados, considerados sistemas do tipo off-channel. Geralmente são protegidas e separadas do solo natural por um geotêxtil, a fim de evitar a entrada de partículas finas e elementos contaminantes”, veja perfil abaixo:

Figura 6: Perfil Trincheira de Infiltração.



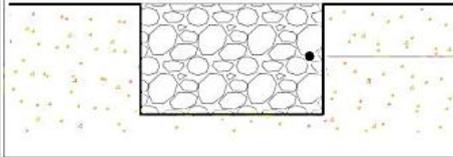
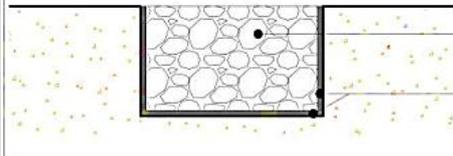
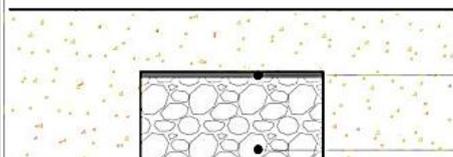
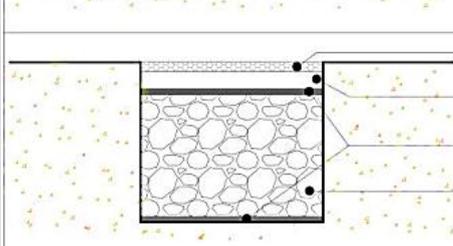
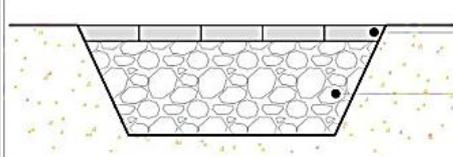
Fonte: Melo, 2015.

Para Melo *et al.* (2016, p. 54), “a implantação de uma trincheira de infiltração requer análises prévias sobre os aspectos urbanos de uso e ocupação, de infraestrutura existente, topográficos, hidrogeológicos, entre outros”. Nesse sentido essas características são analisadas na fase de concepção e planejamento da implantação do sistema.

A profundidade mínima sazonal do lençol freático e da camada impermeável deve ficar no mínimo 1,2 m de profundidade; a taxa de infiltração do solo saturado deve ser superior a 8 mm/h e evitar instalar sobre aterros ou em terrenos com declividade superiores a 5% (Urbonas e Stahre, *apud* Coutinho, 2011).

Alguns modelos de trincheira de infiltração são tratados na literatura, todos com o mesmo princípio de funcionalidades, porém com formas de implantação diferentes.

Figura 7: Perfis de Trincheiras de Infiltração, na literatura.

	MATERIAL GRANULAR	DUCHENE; McBEAN & THOMSON (1994) AKAN (2002)
	MATERIAL GRANULAR GEOTÊXTIL	SOUZA (2002) EMERSON; WADZUK & TRAVER (2010)
	GEOTÊXTIL MATERIAL GRANULAR	WARNAAS <i>et al.</i> (1999)
	SEIXO ROLADO AREIA GROSSA GEOTÊXTIL MATERIAL GRANULAR	LUCAS; BARBASSA & MORUZZI (2013)
	PAVIMENTO PERMEÁVEL MATERIAL GRANULAR	CHAHAR; GRAILLOT & GAUR (2012)

Fonte: Melo *et al.*, 2016.

Na tabela abaixo são apresentadas suas principais vantagens e desvantagens.

Quadro 4: Vantagens e desvantagens das trincheiras de infiltração.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Diminuição ou mesmo eliminação da rede de microdrenagem local	Risco de contaminação das águas subterrâneas no caso de trincheiras de infiltração
Evita a reconstrução da rede a jusante em caso de saturação	
Redução do risco de inundação	Possibilidade de colmatção
Redução da poluição das água superficiais	
Recarga das águas subterrâneas	Restrições de eficiência em áreas com altas declividades
Boa integração com o espaço urbano	

Fonte: Autoral, 2024.

### 5) Valas e Valetas de Detenção:

Valas de infiltração são estruturas cruciais na drenagem urbana. Elas desempenham um papel fundamental na mitigação dos impactos da urbanização. À medida que áreas verdes são substituídas por asfalto e concreto, o solo perde sua capacidade de absorver umidade. A implementação de valas de infiltração permite reduzir o escoamento superficial, controlar alagamentos pontuais e recuperar a capacidade de retenção perdida pelas bacias hidrográficas. Essas valas são escavadas no terreno e podem ser revestidas com tubos de diâmetro mínimo, preferencialmente de tipo furado. Além disso, é crucial considerar a profundidade e largura adequadas, bem como a localização próxima ao enchimento do poço.

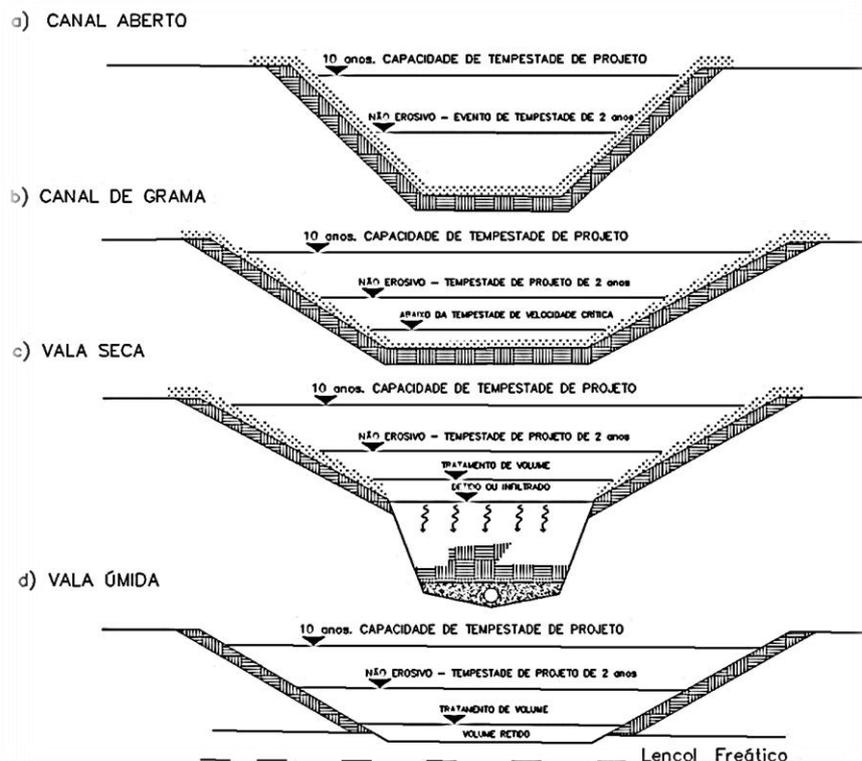
Claytor e Schueler (1996), destaca que engenheiros de drenagem urbana frequentemente utilizam canais abertos ou valas de grama para conduzir o escoamento de água pluvial. Em determinadas situações, os canais abertos podem ser redesenhados para proporcionar uma remoção significativa de poluentes. Portanto, é crucial definir claramente o conceito de canais abertos, a fim de distinguir as potenciais diferenças na capacidade de remoção de poluentes que diferentes projetos de canais podem apresentar durante chuvas de menor intensidade.

É de extrema importância definir o que se entende por canais abertos, a fim de distinguir melhor as diferenças potenciais no potencial de remoção de poluentes que vários projetos de canais podem ter durante pequenas tempestades. Nesse contexto, os canais abertos podem ser classificados em quatro categorias possíveis, com base em seu projeto hidrológico. Essas categorias são:

- a) Canal de Drenagem: Projetado para escoar água de áreas urbanas ou rurais, evitando inundações e minimizando o acúmulo de água.
- b) Canal de Grama: Possui vegetação natural ou cultivada em suas margens, ajudando na filtragem de poluentes e na estabilização do solo.
- c) Vala Seca: Um canal sem fluxo contínuo de água, geralmente usados para drenar áreas baixas ou armazenar água temporariamente.
- d) Vala Úmida: Um canal com vegetação aquática, que atua como um filtro natural, removendo poluentes da água.

A ilustração a seguir representa essas quatro categorias de canais abertos:

Figura 8: Tipos de valas de infiltração.



Fonte: Adaptado de Claytor e Schueler, 1996.

As vantagens da utilização das valas de infiltração incluem:

I. **Redução das vazões escoadas a jusante:** As valas de infiltração ajudam a controlar o fluxo de água, evitando sobrecargas nos sistemas de drenagem.

II. **Fácil integração ao paisagismo:** Essas estruturas podem ser projetadas de forma a se harmonizarem com o ambiente, contribuindo para a estética urbana.

III. **Ganho financeiro com a redução das dimensões das tubulações:** Ao adotar valas de infiltração, é possível diminuir o tamanho das tubulações da rede de drenagem, resultando em economia de custos.

#### **6) Bacia de Detenção e Retenção:**

As bacias de detenção têm como função armazenar água por um curto período de tempo, já as bacias de retenção armazenam água por um longo período de tempo permitindo a sedimentação das partículas presentes na água. São estruturas de engenharia hidráulica projetadas para controlar o fluxo de água em áreas urbanas. Elas são construídas com o propósito de armazenar temporariamente o excesso de água da chuva, evitando enchentes e minimizando os impactos negativos causados pela sobrecarga do sistema de drenagem.

Para Baptista, Nascimento e Barraud, (2015), as bacias de retenção e bacias de detenção são empregadas em sistemas de drenagem urbana. Enquanto a primeira tem a função de sedimentar os resíduos provenientes da água pluvial, enquanto a segunda atua como um amortecedor para as cheias e controla a poluição difusa.

Figura 9: Bacia de Detenção.



Fonte: Peroni, 2018.

Como todas as medidas compensatórias de drenagem urbana, estas também apresentam suas vantagens e desvantagens, veja tabela 7 a seguir:

Quadro 5: Vantagens e Desvantagens das Bacias de Detenção e Retenção.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Efeito paisagístico, com a criação de áreas verdes em meios urbanos	Risco à segurança de moradores às suas margens
Criação de áreas de lazer	
Grande recarga de aquíferos	Ocupação de grandes áreas
Área utilizada para prática de esportes	
A bacia serve como reserva ecológica, em áreas não completamente urbanizadas, preservando a fauna e a flora	Risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas por eles nas proximidades
Age passivamente no aspecto de qualidade das águas, pois a água é decantada e as partículas sólidas se depositam no fundo da bacia.	

Fonte: Autoral, 2024.

## 7) Bacia de Infiltração:

Segundo o Manual de Melhores Práticas de Gerenciamento de Águas Pluviais de Nova Jersey – USA (2016), as bacias de infiltração são estruturas utilizadas em sistemas de drenagem urbana. Elas têm a função de promover a infiltração de águas pluviais no solo, contribuindo para o gerenciamento sustentável dessas águas. Que apresentam como características:

- Podem ser construídas tanto superficialmente quanto subterraneamente.
- A base da bacia de infiltração é preenchida com uma camada de areia (mínimo de 15 cm de espessura) para auxiliar na retenção de sólidos e garantir a permeabilidade do sistema.
- A declividade do terreno onde a bacia será implantada deve ser inferior a 15%.
- A coleta e infiltração de águas pluviais devem ser restritas a áreas não sujeitas a poluentes, a fim de prevenir a contaminação do aquífero freático.

Devem levar em consideração para seu dimensionamento as seguintes condições:

- Índice pluviométrico local
- Volume de águas pluviais a ser infiltrado no solo
- Permeabilidade do solo local
- Área da bacia de infiltração
- Tempo de infiltração no solo

### **2.3. Impactos da drenagem urbana**

À medida que o espaço urbano se aperfeiçoa para acomodar uma população global crescente, é preciso avaliar os impactos do espaço urbano nos processos naturais. A expansão das áreas urbanas globais resulta em alterações significativas nos processos naturais e na qualidade ambiental, a paisagem urbana tem um impacto significativo na infiltração e na evapotranspiração das águas. As superfícies impermeáveis atraem os processos de escoamento, ao passo que o escoamento de áreas permeáveis permanece incerto devido à dinâmica de infiltração variável (SCOTT, 2016).

De acordo com Tucci (2012), os impactos na drenagem urbana podem ser divididos em cinco grandes grupos (recarga do aquífero, qualidade da água pluvial, erosão e assoreamento, drenagem urbana e inundação ribeirinha) são destacados no Quadro 6, relacionando impactos, causas, objetivo, ação e regulação.

Quadro 6: Impactos e regulamentação sobre o escoamento pluvial.

Efeito	Impactos	Objetivo	Ação	Regulamentação
<b>Recarga do aquífero</b>	Diminuição do lençol freático e da vazão de base.	Manter os níveis anuais médios de recarga e a vazão de base.	Infiltração na área desenvolvida.	Garantir a recarga média anual de acordo com os tipos de solo da região.
<b>Qualidade da água</b>	Aumento da carga de poluentes na água pela lavagem das superfícies urbanizadas.	Reduzir a 80% da carga da qualidade da água devido a eventos pluviais.	Tratar o volume dos sólidos suspensos das superfícies urbanas.	O controle é realizado para o volume da chuva de um a dois anos e 24 horas ou um volume correspondente a 90% dos eventos anuais.
<b>Erosão e assoreamento</b>	Erosão do leito dos canais devido ao aumento da vazão e de velocidade.	Reduzir a energia do escoamento	Restringir a vazão pré-desenvolvimento e dissipar a energia por meio de reservatórios ou dissipadores.	O controle é realizado armazenando a chuva de um a dois anos de 24 horas.
<b>Inundação da drenagem urbana</b>	Inundação na drenagem urbana (redes de condutos e canais naturais e/ou artificiais) devido ao aumento da vazão.	Manter a vazão de pico menor ou igual à de pré-desenvolvimento.	Com infiltração ou amortecimento na área desenvolvida.	Evento de cheia com tempo de retorno de 10 a 25 anos e 24 horas.
<b>Áreas ribeirinhas e eventos extremos</b>	Impactos devido a eventos extremos nas áreas ribeirinhas e segurança dos dispositivos hidráulicos.	Mitigar os impactos extremos, não ampliação dos limites da planície de inundação e dimensionamento de estruturas de emergência nos reservatórios.	Controle com reservatórios e/ou zoneamento.	Zoneamento de áreas de inundação para a cheia de 100 anos.

Fonte: Tucci e Meller, 2007 apud Tucci, 2012.

Para reduzir tais impactos que afeta o planeta, muitas técnicas de gerenciamento, planejamento e construções vem sendo implantadas para amenizar os efeitos da urbanização descontrolada.

Como forma de mitigação dos impactos das inundações urbanas, a visão tradicional do projeto de drenagem vem sendo substituída por uma abordagem integrada de manejo sustentável das águas pluviais correlacionada com o planejamento do espaço urbano, observando também aspectos sociais e econômicos (CHAN et. al., 2018 apud RODRIGUES et. al. 2023, p. 162).

### 2.3.1. Eventos Extremos Climáticos

As mudanças climáticas vêm se tornando cada vez mais frequentes nos dias atuais, eventos climáticos extremos, como enchentes e alagamentos acabam necessitando uma atenção na drenagem urbana das cidades. Segundo Tucci (1993), um evento extremo de chuva é caracterizado por fatores como duração, distribuição temporal e espacial, que são críticos para uma determinada área ou bacia. Esse tipo de ocorrência pode afetar obras hidráulicas, causar inundações e outros problemas cotidianos, destacando a importância da análise de precipitações compatíveis.

Conforme a Fundação Osvaldo Cruz, Fiocruz (2021), “popularmente conhecido como "desastre natural", um evento climático ou meteorológico extremo resulta de uma séria interrupção no funcionamento normal de uma comunidade ou sociedade, afetando seu cotidiano”. Tais acontecimentos gera perdas materiais e econômicas, além de impactos ambientais e à saúde das populações, podendo resultar em doenças e mortes imediatas e posteriormente (FIOCRUZ, 2024).

De acordo com um relatório da Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Brasil registrou 12 eventos climáticos extremos em 2023, incluindo chuvas intensas e inundações (OMM, 2023). Em 2024 aconteceu o caso do Estado do Rio Grande do Sul que acabou culminando em um grande impacto social econômico e ambiental. Esses eventos são exacerbados pelo fenômeno El Niño, o aumento da temperatura global e pelas mudanças climáticas induzidas pelo homem, e com isto, mais ocorrências devem ser verificadas no mundo, resultando em grandes impactos na saúde, segurança alimentar e desenvolvimento econômico (INMET, 2024; OMM, 2023).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Área de estudo

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2024), o Brasil está situado no continente americano, fazendo fronteira com vários países da América do Sul: Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai. Banhado a leste pelo Oceano Atlântico, é cortado pela linha do Equador e pelo Trópico de Capricórnio. A maior parte de seu território fica na zona climática tropical.

Seus pontos extremos são:

- ao Norte – o rio Ailã, em Roraima
- ao Sul – o arroio Chuí, no Rio Grande do Sul
- a Leste – a Ponta do Seixas, na Paraíba
- a Oeste – o rio Moa, no Acre

Está dividido em cinco Grande Regiões: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Sendo 26 estados e o Distrito Federal, que constituem as unidades de maior hierarquia dentro da organização político-administrativa do País. Que conta com 5.570 municípios que constituem as unidades de menor hierarquia dentro da organização político-administrativa do Brasil. A localidade onde está sediada a Prefeitura Municipal tem a categoria de cidade.

Possui três tipos de clima no país: equatorial, tropical e temperado. O clima equatorial abrange boa parte do país, englobando principalmente a região da Floresta Amazônica, onde chove quase diariamente e faz muito calor. Já o clima tropical varia de acordo com a região, mas também é quente e com chuvas menos regulares. O Sul do Brasil é a região mais fria do país. Nela predomina o clima temperado que, no inverno, pode atingir temperaturas inferiores a zero grau e ocorrer neve. O relevo brasileiro é constituído, principalmente, por planaltos, planícies e depressões.

Mapa 1: Localização do Brasil.



Fonte: Autoral 2024 / dados IBGE, 2024.

### 3.2. Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa é bibliográfica com caráter exploratório e descritivo, tendo por finalidade a absorção de informações e dados sobre os impactos na drenagem urbana em cidades brasileiras através de dados estatísticos, analisar a situação do país em relação a prevenção de problemas relacionados as catástrofes ambientais como alagamentos e enchentes, realizadas por projetos idealizados de forma tradicional com uma abordagem social, econômica e ambiental. Trata -se de um estudo qualiquantitativo sobre os possíveis impactos na drenagem urbana aplicadas as cidades brasileiras por projetos de engenharia idealizados de forma tradicional desde a concepção da expansão urbana, do parcelamento do solo, da infraestrutura urbana e do sistema de drenagem.

### 3.3. Etapas e procedimentos

3.3.1. Etapa 1: Revisão de Literatura – Palavras-chaves (Desenvolvimento urbano, drenagem urbana, impactos da drenagem urbana).

Esta etapa consistiu na coleta e análise de dados bibliográficos para fornecer a base teórica e conceitual da pesquisa de acordo com as palavras-chaves.

#### I. Fontes de dados:

- Livros especializados em hidráulica urbana, infraestrutura e gestão de águas pluviais.

- Artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais.
- Monografias, dissertações e teses relacionadas ao tema.

#### II. Metodologia de revisão:

- Aplicação de critérios de inclusão: relevância para drenagem urbana, publicação recente (últimos 5 anos) ou relevância histórica.

- Organização das informações em categorias: Desenvolvimento urbano, drenagem urbana e impactos da drenagem urbana.

3.3.2. Etapa 2: Identificar o modelo, características e vulnerabilidades de projetos higienistas aplicados a drenagem urbana utilizados nas cidades brasileiras.

Esta etapa buscou mapear os sistemas tradicionais de drenagem urbana utilizados nas cidades brasileiras, com foco em sua concepção, características e limitações.

#### I. Fontes consultadas:

- Legislação: Normativas federais, estaduais e municipais aplicáveis à drenagem urbana.

- Normas técnicas: Especificações da ABNT e de outras organizações relevantes.

- Literatura técnica: Artigos e relatórios sobre o planejamento e execução de sistemas hidráulicos.

#### II. Abordagem analítica:

- Classificar os modelos segundo critérios como tipo de sistema, materiais empregados e eficiência hidráulica.
- Identificar vulnerabilidades operacionais e estruturais relacionadas ao planejamento urbano inadequado, manutenção precária e falhas de projeto.

3.3.3. Etapa 3: Avaliar o cenário nacional das cidades no âmbito da drenagem e manejo das águas pluviais urbana.

O foco desta etapa foi compreender os fatores que levam cidades brasileiras com sistemas de drenagem a sofrerem com enchentes e alagamentos.

- I. Fontes de dados:
  - Site do Ministério das Cidades.
  - Relatórios técnicos de órgãos públicos (Defesa Civil, IBGE, ANA).
  - Estudos acadêmicos sobre fatores de risco e impactos de enchentes urbanas.
- II. Critérios de análise:
  - Identificar a relação entre enchentes e fatores como impermeabilização do solo, urbanização desordenada e mudanças climáticas.

3.3.4. Etapa 4: Analisar as causas e os efeitos das inundações no estado do Rio Grande do Sul no ano de 1941 e 2024, com foco na capital Porto Alegre.

Nesta etapa, realizou-se um estudo de caso dos eventos históricos e contemporâneos de enchentes no estado do Rio Grande do Sul, com ênfase nos anos de 1941 e 2024.

- I. Fontes de dados:
  - Relatórios técnicos e históricos sobre enchentes no estado.
  - Telejornais, revistas especializadas e outras mídias confiáveis.
  - Documentação histórica e acadêmica sobre as enchentes de 1941.
- II. Metodologia:

- Comparar fatores climáticos, urbanos e estruturais de ambos os períodos.
- Relacionar os impactos das enchentes a alterações no planejamento urbano e mudanças climáticas.
- Destacar as implicações específicas para a capital, Porto Alegre, como caso emblemático.

3.3.5. Etapa 5: Propor aplicações de técnicas e tecnologias sustentáveis, eficientes e segura para os projetos de drenagem urbana afim de controlar e mitigar os problemas relacionados as enchentes e alagamentos no futuro.

Com base nos dados coletados e analisados, foram elaboradas propostas para a aplicação de técnicas e tecnologias sustentáveis nos projetos de drenagem urbana. Para apresentar soluções inovadoras e eficazes para minimizar os impactos de enchentes e alagamentos no futuro.

I. Procedimentos:

Revisão bibliográfica de práticas sustentáveis, como:

- Infraestruturas verdes (jardins de chuva, telhados verdes).
- Sistemas de pavimentação permeável.
- Reservatórios de retenção e detenção.

II. Análise de viabilidade:

- Avaliar custos de implementação, benefícios ambientais e aplicabilidade no contexto brasileiro.

III. Síntese de propostas:

- Integrar soluções técnicas a políticas públicas e ações de conscientização social.

IV. Resultado esperado:

- Criação de um conjunto de recomendações práticas e sustentáveis para o planejamento e gestão de drenagem urbana.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão de literatura envolveu cerca de 100 trabalhos acadêmicos, dos quais 30 foram selecionados para compor a base do referencial teórico. Nas etapas subsequentes, foram identificados e utilizados dados relevantes para a pesquisa, sendo alguns processados e representados por meio de mapas e gráficos, garantindo uma análise completa e coerente para responder ao problema investigado.

**4.1. Modelo, características e vulnerabilidades de projetos higienistas aplicados a drenagem urbana utilizados nas cidades brasileiras.**

De acordo com o manual de projetos básico do ministério das cidades (2011) os projetos deverão ser elaborados, no que couber, em conformidade com as Normas Técnicas da ABNT, e na falta, quando necessário, poderão ser consultados os cadernos de especificações para obras de drenagem do antigo DNER e do DNIT.

Contudo, no âmbito da drenagem urbana, ainda não existe uma normatização específica consolidada, na maioria dos casos os planos diretores é o que direciona os projetos, porém muitos municípios não possuem este plano, já que a constituição federal de 1988 restringe a obrigação apenas para cidades acima de vinte mil habitantes ou em áreas de riscos.

Esse vácuo normativo obriga os municípios e estados a recorrerem a legislações locais ou a diretrizes técnicas suplementares e acabam ficando expostos a eventos extremos relacionados as mudanças climáticas ambientais.

### **Modelos Tradicionais de Drenagem Urbana no Brasil**

Os sistemas tradicionais de drenagem urbana no Brasil evoluíram com base em uma visão higienista, centrada exclusivamente na rápida evacuação das águas pluviais para fora dos centros urbanos. Historicamente, esses sistemas foram projetados para minimizar os impactos imediatos das chuvas intensas, por meio de medidas estruturais como galerias, bocas de lobo, canais e tubulações subterrâneas. Essas estruturas direcionam o fluxo de montante para jusante, conduzindo a água para córregos, rios ou o mar. Contudo, essa prática transfere os

problemas de inundação e sedimentação para outras áreas, em vez de resolvê-los (TUCCI, 2005; IPCC, 2022).

Embora amplamente utilizado, o modelo higienista apresenta várias limitações estruturais e operacionais em relação a eventos extremos:

- **Dimensões insuficientes para eventos extremos:** Projetados com base em índices pluviométricos históricos, os sistemas tradicionais frequentemente não suportam eventos extremos, como os causados por mudanças climáticas. Isso resulta em alagamentos recorrentes e danos significativos em áreas urbanas densamente povoadas (TUCCI, 2005; IPCC, 2022).

- **Falta de integração com o ambiente urbano:** Os projetos tradicionais não levam em consideração a inter-relação entre a drenagem urbana e outros sistemas de infraestrutura, como saneamento básico e manejo de resíduos sólidos, agravando o impacto ambiental e social (TUCCI, 2005).

- **Impermeabilização excessiva do solo:** A urbanização desordenada e o aumento de áreas pavimentadas reduzem drasticamente a infiltração de água no solo, aumentando o volume de escoamento superficial e a carga sobre os sistemas de drenagem existentes (TUCCI; GOLDENFUM, 1996).

A análise evidencia que os sistemas tradicionais de drenagem urbana no Brasil necessitam de modernização e reestruturação. A ausência de uma norma técnica específica e de estratégias integradas de planejamento limita a eficácia das soluções atuais. É urgente a implementação de modelos que considerem não apenas o escoamento hidráulico, mas também os impactos ambientais, sociais e climáticos, promovendo a sustentabilidade e a resiliência urbana.

**4.2.** Cenário nacional das cidades no âmbito da drenagem e manejo das águas pluviais urbana.

De acordo com o Ministério das Cidades (2022), o Brasil enfrenta um cenário preocupante em relação à drenagem urbana, como evidenciado pelos dados apresentados nos gráficos abaixo.

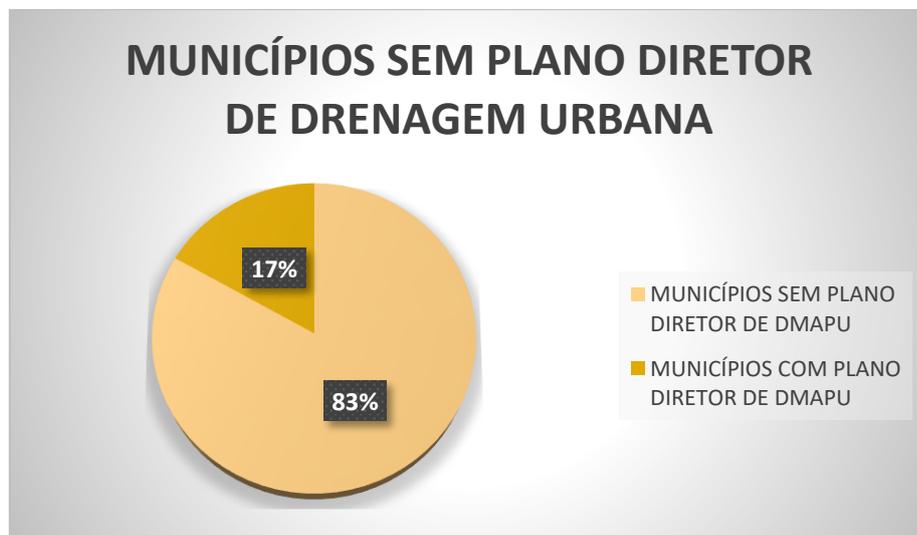
Gráfico 1: Municípios Brasileiros cadastrados no sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (DMAPU).



Fonte: Ministério das Cidades, 2024.

O gráfico 1, ilustra que, embora 43% dos municípios brasileiros tenham algum tipo de cadastro técnico referente ao sistema de drenagem urbana, esse número corresponde a apenas 2.395 dos 5.570 municípios no país. Esse dado evidencia uma lacuna significativa na organização e gestão do sistema de drenagem em muitas regiões.

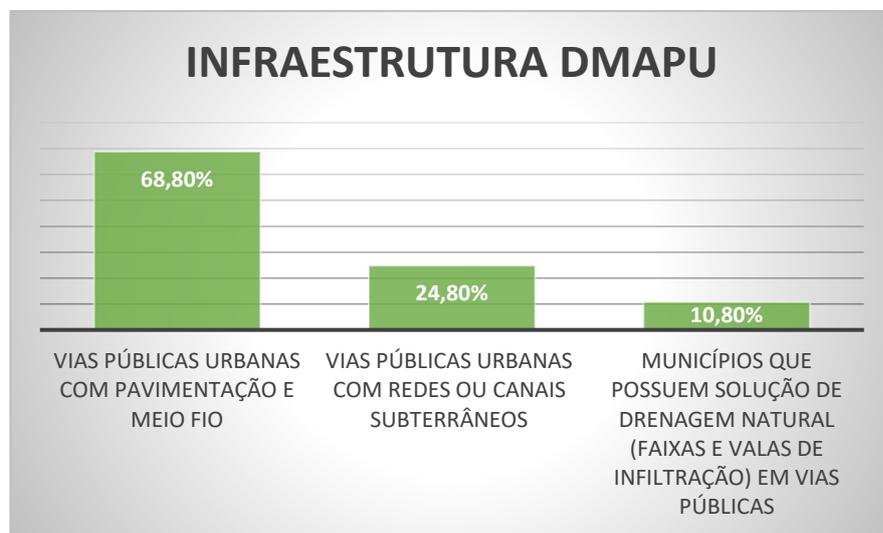
Gráfico 2: Municípios Brasileiros sem plano diretor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.



Fonte: Ministério das Cidades, 2024.

No gráfico 2, é revelada uma realidade alarmante: apenas 17% dos municípios no Brasil possuem um plano diretor de drenagem urbana, o que implica uma falta de planejamento e de estratégias de longo prazo para enfrentar os desafios relacionados ao manejo das águas pluviais. Isso mostra uma enorme vulnerabilidade das cidades brasileiras frente aos riscos de alagamentos e enchentes, refletindo diretamente na gestão das bacias hidrográficas, tanto micro quanto macro bacias de drenagem urbana.

Gráfico 3: Infraestrutura de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.



Fonte: Ministério das Cidades, 2024.

No gráfico 3, é apresentada a infraestrutura existente de drenagem urbana, mostrando que 68,8% das vias públicas estão pavimentadas, o que contribui significativamente para a impermeabilização do solo. Além disso, 24,8% das cidades possuem redes ou canais subterrâneos, enquanto apenas 10,8% adotam soluções de drenagem natural. Este cenário reforça a preocupação com a crescente impermeabilização do solo, que dificulta a absorção das águas da chuva, exacerbando o risco de enchentes e outros problemas relacionados à drenagem urbana.

Gráfico 4: Sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.



Fonte: Ministério das Cidades, 2024.

O Gráfico 4, mostra que ainda há uma grande parcela dos municípios com sistemas combinados, isso para regiões onde a frequência e intensidade de chuvas é grande, traz sérios prejuízos e impactos para a população e o meio ambiente, uma vez que este tipo de sistema é projetado para redes coletores de esgoto urbano. Também é notório que uma pequena parte dos municípios possuem tratamentos de águas pluviais, onde mostra que não há controle da qualidade do esgoto descartado nos rios ou mares.

A análise identificou que a impermeabilização do solo, a urbanização desordenada e as mudanças climáticas são os principais fatores que agravam o risco de enchentes. A impermeabilização impede a infiltração da água da chuva, enquanto a urbanização desordenada impede o desenvolvimento de soluções de drenagem adequadas, como áreas verdes e sistemas de retenção de águas pluviais.

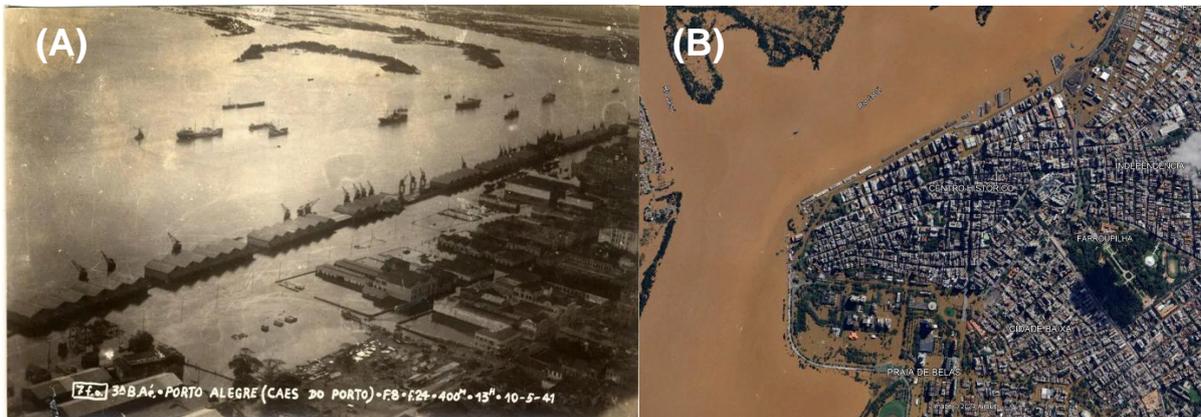
**4.3.** Causas e os efeitos das inundações no estado do rio grande do sul no ano de 1941 e 2024, com foco na capital porto alegre.

A fim de examinar as origens e as consequências das cheias que ocorreram no estado do Rio Grande do Sul em 1941 e 2024, é fundamental levar em conta fatores históricos, climáticos, geográficos e sociais que afetam os episódios de inundação. A análise comparativa desses dois momentos possibilita uma reflexão sobre a influência da urbanização, das alterações climáticas e das ações

governamentais na região. Para isso foi elaborado um estudo de caso das cheias e inundações no estado do Rio Grande do Sul.

O Rio Grande do Sul, particularmente Porto Alegre, tem uma história marcada por enchentes devastadoras que impactaram significativamente sua infraestrutura e seus habitantes. Este estudo de caso compara as enchentes de 1941 e 2024, analisando como o crescimento urbano desordenado, a evolução das políticas de drenagem e as mudanças climáticas influenciaram esses eventos. Além disso, reflete sobre o impacto das abordagens tradicionais de projetos e gerenciamento do uso do solo e alternativas sustentáveis na drenagem urbana.

Figura 10: Inundação no centro de Porto Alegre em 1941(A); Inundação no centro de Porto Alegre em 2024 (B).



Fonte: (A) Acervo/Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo, 2024; (B) Google Earth, 2025.

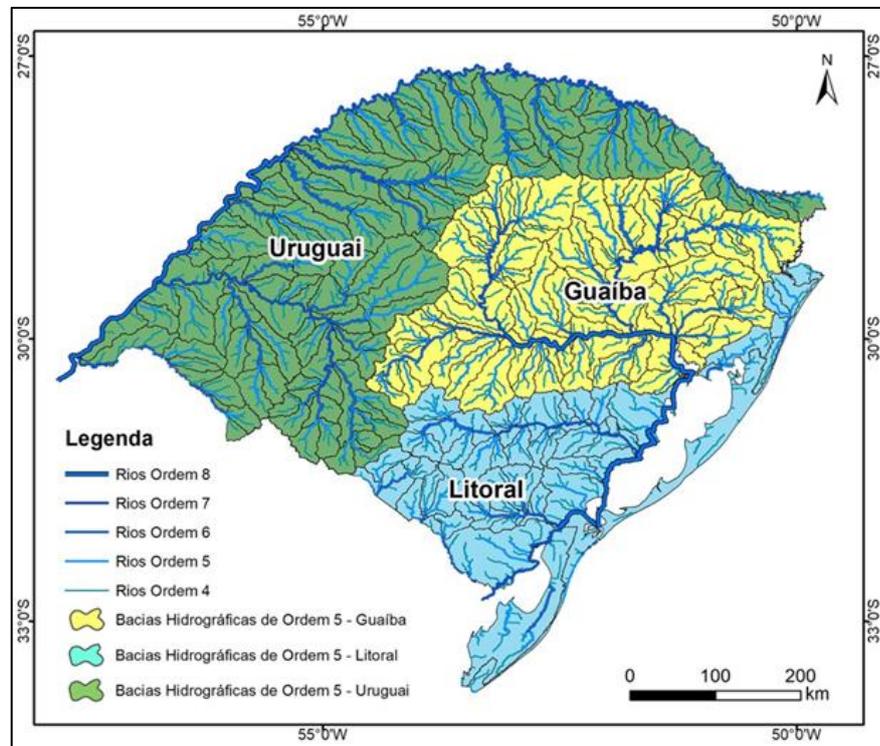
Conforme a Plataforma Human (2024), o estado do Rio Grande do Sul é composto por três grandes bacias hidrográficas:

- A Bacia do Rio Uruguai, que integra a bacia hidrográfica nacional do Rio Uruguai;
- A Bacia do Guaíba que pertence à bacia hidrográfica nacional do Atlântico – Trecho Sudeste;
- E Bacia Litorânea que também pertence à bacia hidrográfica nacional do Atlântico – Trecho Sudeste.

A Bacia do Guaíba abrange 251 municípios, incluindo Porto Alegre, sendo alimentada pelos rios Gravataí, Sinos, Caí, Taquari, Antas, Jacaí, Vacacaí e Pardo. Já a Bacia Litorânea é composta por cursos d'água que deságuam diretamente no

Oceano Atlântico, destacando-se os rios Tramandaí, Camaquã, Mirim, São Gonçalo e Mampituba.

Mapa 2: Bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Plataforma human, 2024.

#### 4.3.1.1. Enchente de 1941

As inundações de 1941 foram causadas por precipitações fortes e contínuas, particularmente durante o mês de março. O excesso de umidade nas bacias dos rios Guaíba, Taquari, Caí e Jacuí agravou as condições meteorológicas, resultando no transbordamento desses rios e subsequente inundação em várias regiões do estado, sendo que a principal cidade afetada foi a capital do estado Porto Alegre.

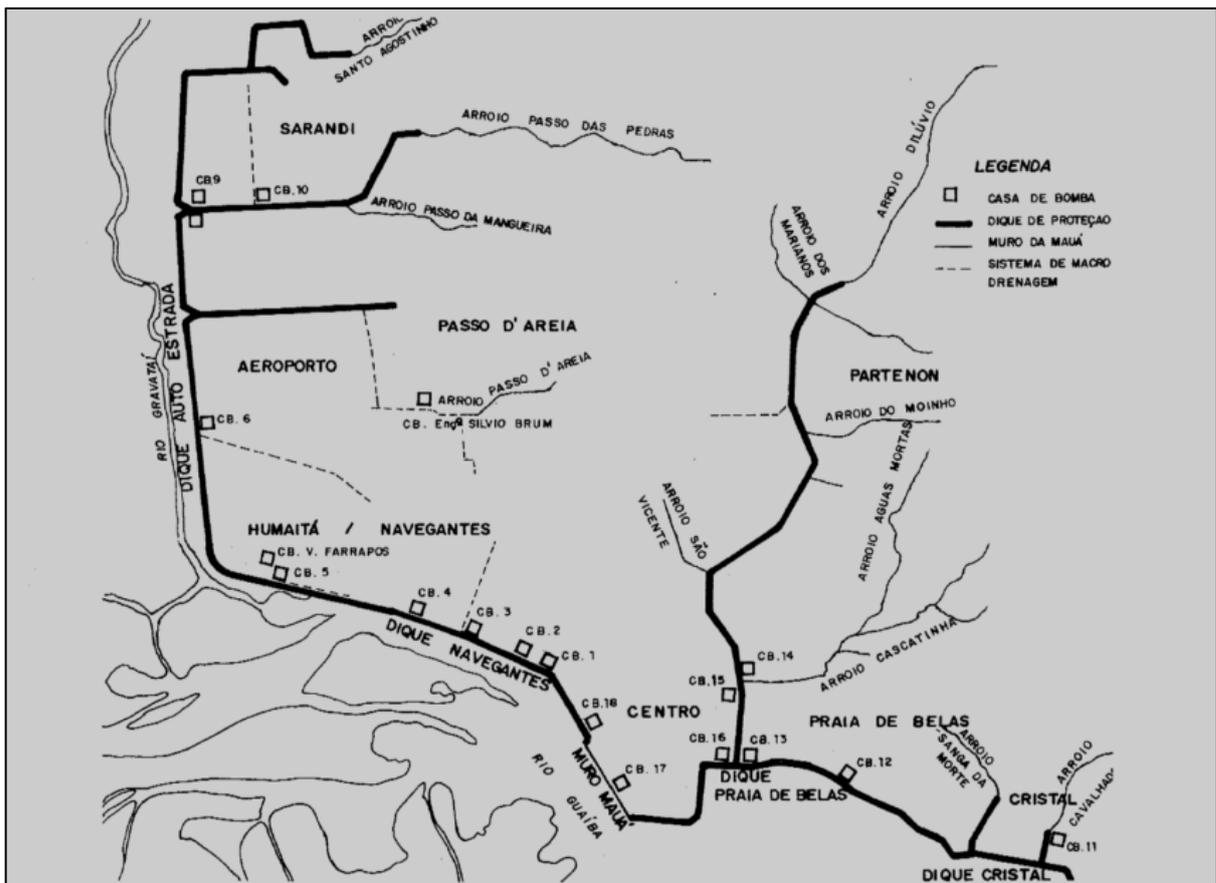
Para Silveira (2023), os principais impactos da cheia de 1941 em Porto Alegre incluíram:

- **Inundações de Residências:** Estima-se que a cheia tenha inundado cerca de 15 mil residências na cidade, resultando em um grande número de desabrigados.
- **Desabrigados:** Aproximadamente 70 mil pessoas ficaram desabrigadas devido à inundação, o que representava uma parte significativa da população da cidade na época, que era de cerca de 272 mil habitantes.

- **Danos à Infraestrutura:** A cheia causou danos significativos à infraestrutura urbana, embora o documento não forneça detalhes específicos sobre esses danos.
- **Impacto Social e Econômico:** Além das perdas materiais, a cheia teve um impacto social profundo, afetando a vida de milhares de pessoas e a economia local.

Após este evento na década de 1970, foi implementado em Porto Alegre um sistema de proteção contra enchentes voltado para áreas urbanizadas ou planejadas para urbanização. A escolha desse sistema baseou-se na relação custo-benefício, considerando a efetividade e a simplicidade operacional. O projeto integrou diques, comportas, casas de bombas e a "cortina de proteção", que foi incorporada ao conhecido "Muro da Mauá" (LING; INGLÊS, 2024).

Mapa 3: Sistema de proteção e contenção contra enchentes na cidade de Porto Alegre.



Fonte: Prevenir é o melhor remédio *apud* Plataforma human, 2024.

Segundo Goldenfum (2024) o sistema de proteção contra enchentes e inundações criado, contem:

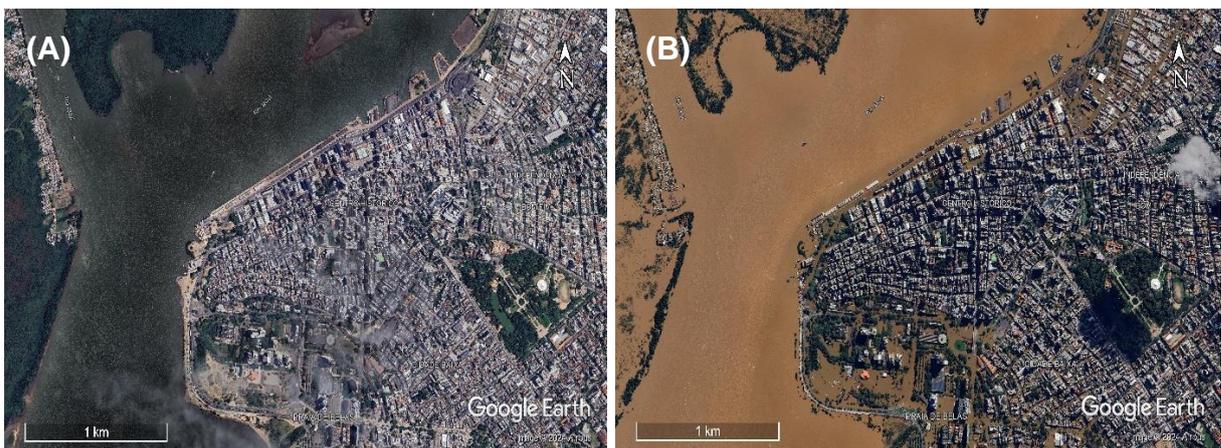
- 68 km de diques de proteção (internos e externos)

- 2.647 m de cortina de concreto (Muro da Mauá) – menos de 4% do total
- 14 comportas com sistema de acionamento hidráulico
- 20 estações de bombeamento
- total de 86 bombas
- capacidade de bombear 170 mil litros de águas pluviais por segundo
- mais de 3 mil km de rede
- aproximadamente 75 mil pontos de captação
- 70 km de canais e de condutos forçados (acima da cota 6 a 9 m)
- dezenas de cursos d'água

#### 4.3.1.2. Enchentes de 2024

As inundações de 2024 no Rio Grande do Sul foram consequências de mudanças climáticas intensificadas pelo El Niño. Chuvas torrenciais, urbanização rápida, ocupação irregular e solo impermeabilizado, sobrecarregaram o sistema de drenagem, levando a graves enchentes e inundações, principalmente na capital do estado, Porto Alegre.

Figura 11: (A) Porto Alegre em fevereiro de 2024; (B) Porto Alegre em maio de 2024.



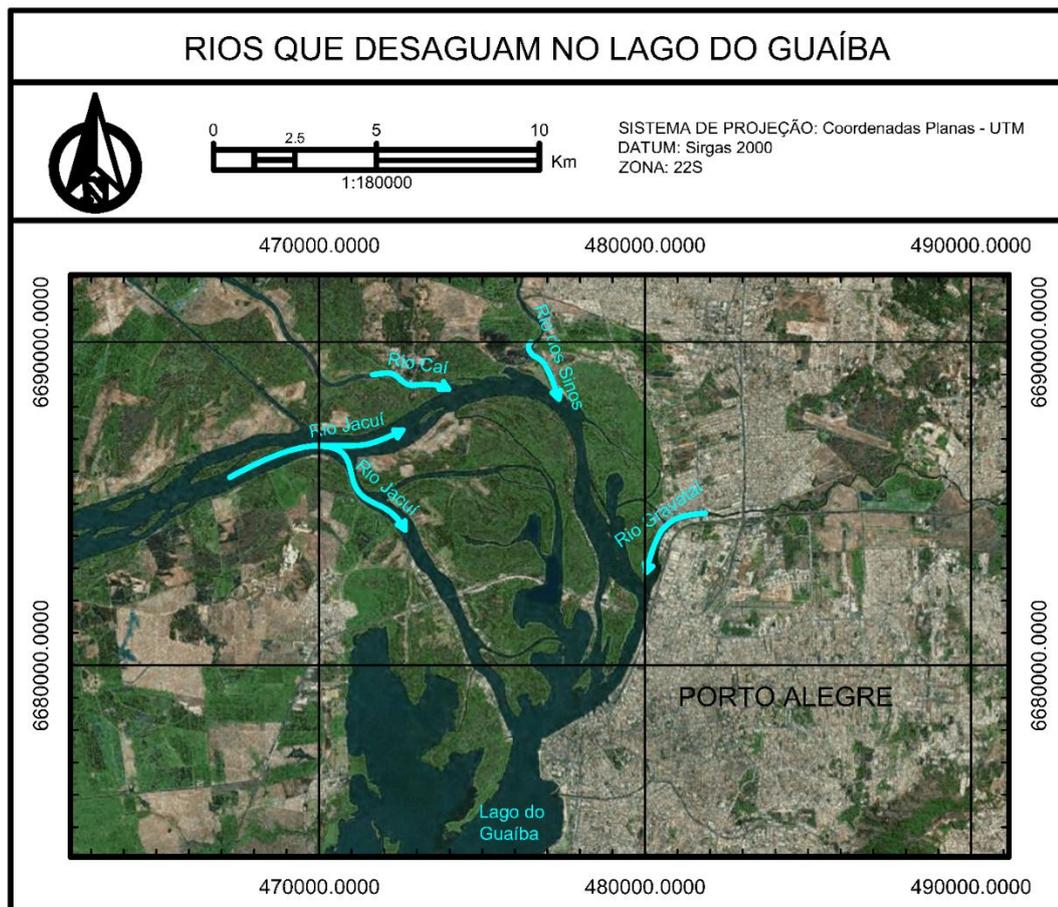
Fonte: Google Earth, 2025.

De acordo com a Defesa Civil do estado do Rio Grande do Sul, apesar das melhorias no sistema de drenagem, a impermeabilização do solo e o crescimento urbano desordenado, agravaram as inundações de 2024. As soluções tradicionais,

como ampliação de galerias, não foram suficientes para lidar com as chuvas extremas.

Segundo a plataforma human (2024), Porto Alegre enfrenta grandes desafios relacionados às enchentes devido à sua localização geográfica. A cidade é cercada pelo Rio Gravataí, Lago Guaíba e Lagoa dos Patos, além de possuir 27 arroios. Aproximadamente 35% da área urbanizada, especialmente na Zona Norte, encontra-se a apenas três metros acima do nível do mar, o que a torna especialmente suscetível a alagamentos. A região metropolitana combina áreas planas, que retêm água durante períodos de chuva intensa, com terrenos montanhosos que dificultam o escoamento natural. Além disso, a bacia hidrográfica do Guaíba, responsável por drenar 30% do território do Rio Grande do Sul, recebe os rios Jacuí, Gravataí, Sinos e Caí, em um estreito de apenas 900 metros, o que intensifica o risco de represamento em eventos de chuvas extremas.

Mapa 4: Rios que desaguam no lago do Guíba.



Fonte: Aural, 2024.

Mapa 5: Estreito do Lago do Guaíba.



Fonte: Autoral, 2024.

Esse estreito de entrada de água para o lago do Guaíba deixa sua passagem lenta, fazendo com que fique represada no encontro dos rios que são responsáveis por drenar 30% das águas pluviais do estado, elevando-se o nível do rio e agravando o risco de inundação, também com o nível do mar elevado um fator secundário surgiu e colocou os centros de monitoramento em alerta: a mudança do vento, passou a soprar do litoral para o continente, levando a água de volta para o Guaíba e contribuindo para a piora do cenário.

O sistema de contenção e prevenção de enchentes e inundações, concebido na década de 1970 em Porto Alegre, não passou por atualizações estruturais relevantes para lidar com eventos extremos que têm se tornado mais frequentes devido às mudanças climáticas.

A afirmação de que a tragédia de enchentes na capital em 2024 foi agravada pela falta de manutenção do sistema de contenção é amplamente corroborada por especialistas e análises técnicas. Segundo relatos, problemas no sistema de comportas e bombas foram determinantes. Muitas comportas estavam sem manutenção adequada, apresentando falhas estruturais como brechas que permitiram a entrada de água. Além disso, diversas bombas estavam inoperantes por conta de problemas elétricos ou alagamento, o que impediu a drenagem eficiente da cidade (G1, 2024; CENTENO, 2024).

Especialistas como o engenheiro e ex-diretor do Dmae (Departamento Municipal de Água e Esgoto) Augusto Damiani e o engenheiro especialista em Planejamento Energético e Ambiental e ex-diretor do DEP (Departamento de Esgotos Pluviais) Vicente Rauber destacaram que ações de manutenção simples, como a troca de borrachas de vedação e o reparo de comportas, poderiam ter reduzido significativamente o impacto das enchentes (G1, 2024; CENTENO, 2024).

Apesar de a prefeitura argumentar que a falha foi de concepção e não de manutenção, a ausência de investimentos regulares no sistema de proteção é apontada como uma das principais causas para o agravamento do evento.

#### 4.3.1.3. Comparação entre 1941 e 2024

A principal diferença entre os dois eventos está na crescente consciência sobre os impactos ambientais e a necessidade de planejamento urbano sustentável. Contudo, o modelo higienista prevalente continua inadequado para enfrentar mudanças climáticas e crescimento urbano acelerado. Na tabela a seguir veja como o crescimento urbano desordenado, a evolução das políticas de drenagem e as mudanças climáticas influenciaram esses eventos.

Quadro 7: Aspectos das inundações ocorridas no estado do Rio Grande do Sul nos anos de 1941 e 2024.

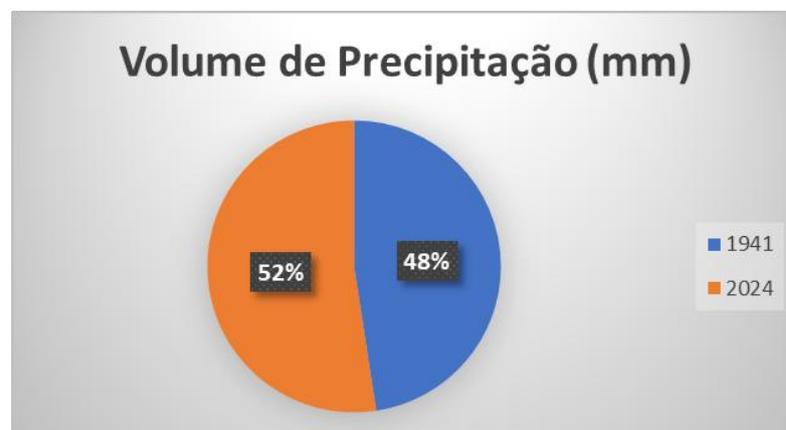
INUNDAÇÕES NO RIO GRANDE DO SUL 1941 e 2024		
ASPECTOS	1941	2024
<b>Aspectos Históricos e Sociais</b>	Porto Alegre e outras áreas urbanas eram menos desenvolvidas, com menor infraestrutura de contenção de enchentes, implantados na década de 1970.	Urbanização descontrolada avanço nas margens do rio, aumentou a impermeabilização do solo, agravando as inundações.
	Políticas públicas de gestão e desastres eram praticamente inexistentes.	Políticas públicas mais desenvolvidas, mas ainda insuficientes para mitigar completamente os danos.
<b>Aspectos Meteorológicos e Geográficos</b>	Chuvas intensas contínuas elevaram os níveis dos rios.	Chuvas intensas causadas por fenômenos climáticos como o El Niño.
	Ventos sudoeste represaram as águas da Lagoa dos Patos, exacerbando a inundação.	Mudanças climáticas globais contribuíram para o aumento da intensidade e frequência das chuvas.

Fonte: (INMET, 2024; DEFESA CIVIL, 2024).

Segundo Collischonn *et al.* (2024), as principais diferenças entre as cheias de 2024 e 1941 incluem:

- **Volume de Precipitação:** A chuva que causou a cheia máxima de 2024 no rio Guaíba foi mais volumosa, atingindo 652 mm, em comparação com 592 mm na cheia de 1941. Isso indica que a precipitação acumulada na bacia hidrográfica foi maior em 2024. Um evento extremo que demonstrou um tempo de retorno de 83 anos de intervalo de uma precipitação para outra.

Gráfico 5: Percentual de volume precipitação nos anos de 1941 e 2024.



Fonte: Collischonn *et al.*, 2024.

A enchente de 2024 teve um volume de precipitação 4% maior do que a de 1941 (652 mm contra 592 mm), em apenas 24 horas esse volume fez com que o rio Guaíba atingisse seu nível máximo, em 2024 no dia 5 de maio e 1941 no dia 8 de maio. Esse aumento demonstra que o evento de 2024 foi mais intenso em termos de volume acumulado de chuvas. Embora ambos os eventos tenham sido significativos, a maior precipitação em 2024 ajuda a explicar os impactos mais graves, especialmente em um cenário de mudanças climáticas e urbanização crescente.

Apesar da proximidade dos volumes, a enchente de 2024 é vista como mais crítica devido à sua intensidade, impacto socioeconômico e possível relação com mudanças climáticas recentes. Essa análise destaca a necessidade de políticas públicas voltadas à adaptação e mitigação de desastres naturais, como melhorias nos sistemas de drenagem e contenção.

- **Intensidade e Concentração da Chuva:** A chuva de 2024 ocorreu de forma mais concentrada ao longo do tempo, com um incremento de 444 mm em apenas 8 dias antes do pico da cheia. Em contraste, a cheia de 1941 teve um incremento de 297 mm no mesmo período. Isso sugere que a intensidade das chuvas em 2024 foi maior.

Essa característica pode indicar mudanças climáticas ou padrões meteorológicos mais extremos, o que teria implicações diretas no planejamento urbano e na gestão de drenagem.

- **Período de Ocorrência:** A chuva que antecedeu a cheia de 1941 começou no dia 12 de abril e continuou até 5 de maio, enquanto a chuva de 2024 começou em 4 de abril e se intensificou rapidamente entre o final de abril e 3 de maio.

Além da chuva de 2024 ter durado mais dias, a intensidade foi maior e mais concentrada no período final, contribuindo significativamente para o pico da cheia. Em contraste, a chuva de 1941 foi mais contínua e uniforme ao longo do período. Essa diferença pode indicar um padrão climático mais extremo em 2024, com impactos importantes para o manejo de águas urbanas e sistemas de alerta precoce.

- **Impacto e Consequências:** Apesar da construção de um sistema de proteção contra inundações na década de 1970 onde o objetivo era conter o nível da água até seis metros, no entanto no dia 3 de maio de 2024, a água atingiu 4,5 metros de altura e foi suficiente para inundar a capital gaúcha (COLLISCHONN *et al.*, 2024; TRINDADE, 2024).

#### 4.3.1.4. Plano de drenagem urbana de porto alegre: avaliação crítica

De acordo com Collischonn *et al.* (2024), as medidas de proteção contra inundações implementadas em Porto Alegre desde 1941 incluem:

- **Construção de Barragens e Diques:** Na década de 1970, sistemas de barragens e diques foram erguidos ao longo do rio Guaíba, hoje considerado pela prefeitura de Porto Alegre como lago do guaíba, para controlar o fluxo de água e proteger a cidade das cheias. Esses sistemas têm o objetivo de reduzir os danos causados pelas inundações e salvaguardar as áreas urbanas mais vulneráveis.

- **Sistema de Drenagem:** A cidade conta com um sistema de drenagem projetado para escoar a água da chuva de forma rápida, minimizando o acúmulo em áreas baixas e nas ruas. Esse sistema é essencial para evitar alagamentos durante períodos de chuvas intensas.

- **Monitoramento e Alerta:** Porto Alegre também implementou sistemas de monitoramento meteorológico e hidrológico, que permitem antecipar eventos de chuva forte e cheias, possibilitando alertas à população e a adoção de medidas preventivas.

- **Planos de Gestão de Risco:** A cidade desenvolveu planos específicos para a gestão de riscos, com estratégias voltadas para a mitigação de desastres relacionados a inundações. Esses planos incluem ações de conscientização da população e preparação para eventos extremos.

Apesar dessas iniciativas, a enchente de 2024 demonstrou que os sistemas de proteção existentes não foram suficientes para mitigar os impactos severos a exemplo o sistema contra inundações erguidos na década de 1970. Esse evento gera discussões sobre a necessidade de aprimoramentos e adaptações nas estratégias de gestão das águas e controle das inundações.

#### **Pontos Críticos:**

- **Modelo Higienista:** A drenagem continua sendo tratada de maneira técnica, sem uma visão holística, transferindo sempre o problema de montante para jusante sem uma mitigação dos riscos nos locais gerados.

- **Crescimento Desordenado:** A impermeabilização do solo e a falta de planejamento urbano agravam os problemas de drenagem. Ling e Inglês

(2024) afirma que a urbanização crescente em Porto Alegre e nas áreas próximas ao Guaíba, especialmente a partir do final do século XIX, trouxe impactos significativos ao sistema natural da região. A construção de aterros em áreas suscetíveis a alagamentos e a expansão urbana, com aumento da impermeabilização do solo, reduziram a capacidade de absorção de água. Isso, por sua vez, elevou o escoamento superficial e a velocidade com que a água das áreas mais altas alcança os rios e lagos, agravando o problema das enchentes.

- **Técnicas Sustentáveis:** Técnicas como reuso da água da chuva, aumento de áreas permeáveis e sistemas de drenagem natural ainda são insuficientemente explorados.

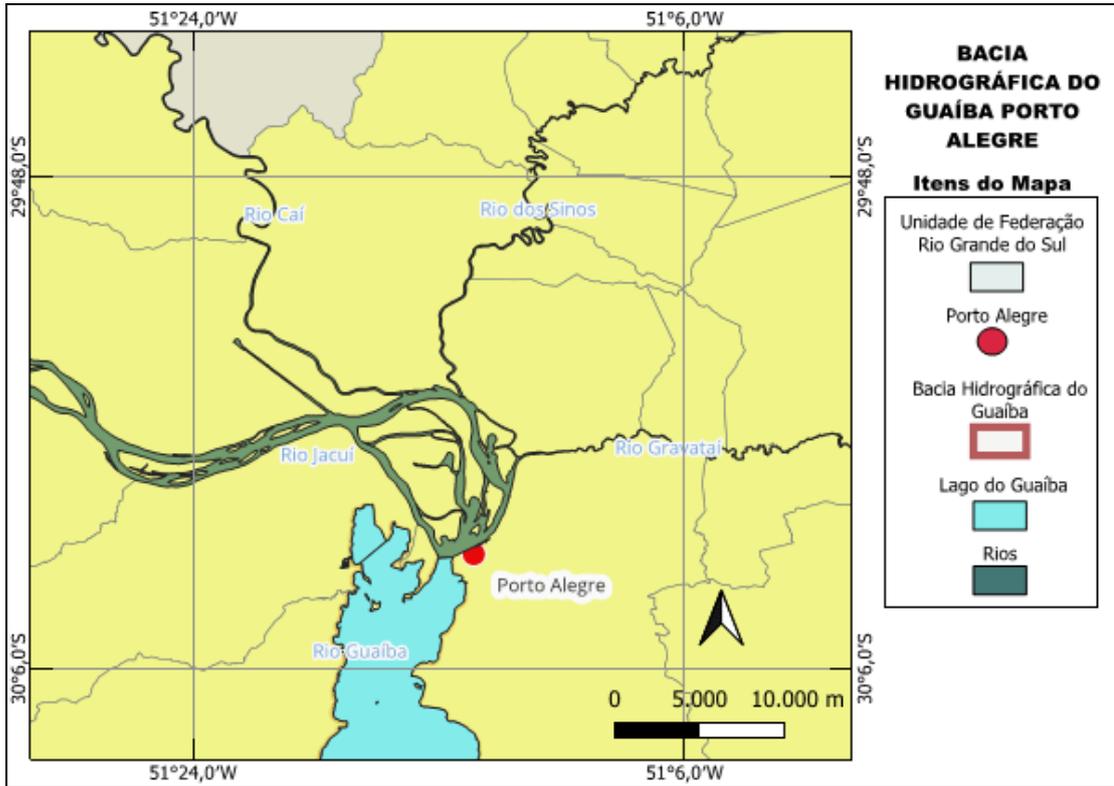
#### 4.3.1.5. Possíveis soluções além do sistema existente

- **Implementação de Barragens**

A análise da construção de barragens nos principais rios que deságuam no estreito de 900 metros do Lago Guaíba, como os rios Jacuí, Gravataí, Sinos e Caí, deve ser conduzida com base em dados hidrológicos, técnicos e socioambientais. Durante as enchentes de maio de 2024, a vazão de pico do estreito do rio Guaíba foi registrada em 35,7 mil metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) no dia 5 de maio, conforme medições do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A água se movimentava a uma velocidade de 4,2 metros por segundo, resultando em um nível d'água de 5,27 metros na Usina do Gasômetro.

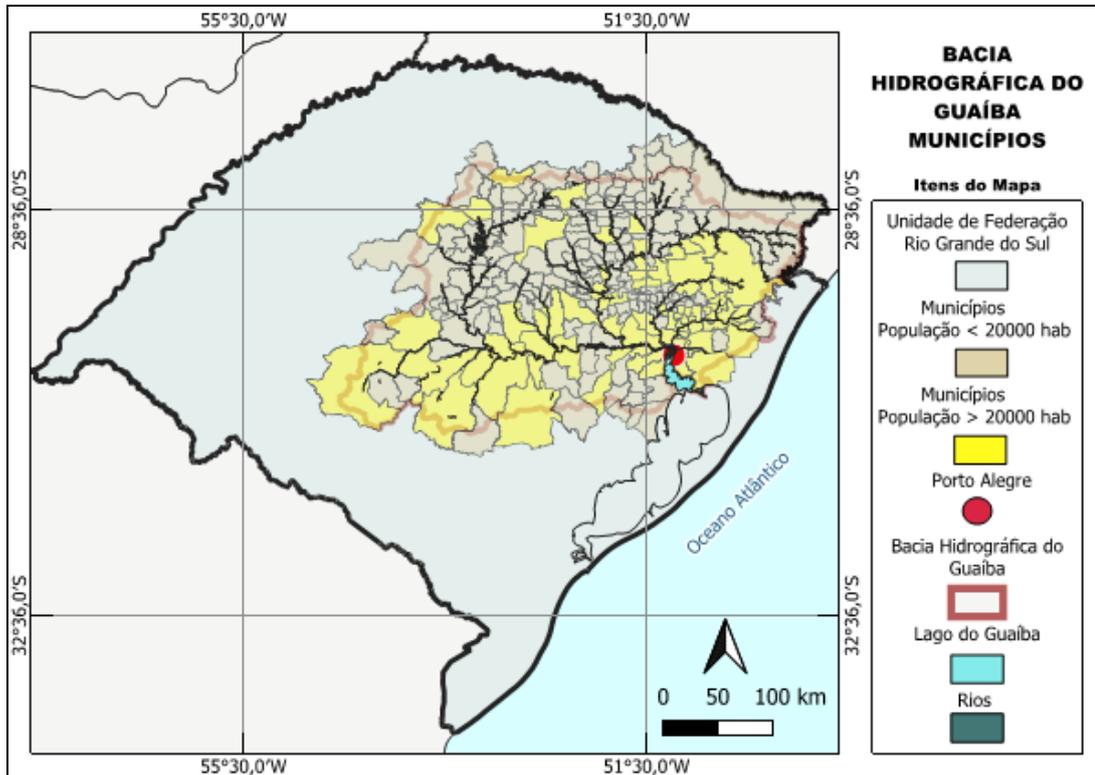
Barragens multifuncionais podem ser planejadas com o objetivo de reduzir picos de cheias, armazenar água para abastecimento humano, controlar o transporte de sedimentos e gerar energia elétrica, oferecendo uma abordagem integrada para o gerenciamento hídrico. A viabilidade técnica dessas estruturas deve considerar aspectos como a proximidade de áreas urbanas, os impactos sobre ecossistemas locais, os custos associados à desapropriação de terras e os benefícios socioeconômicos.

Mapa 6: Encontro dos principais rios da Bacia do Guaíba.



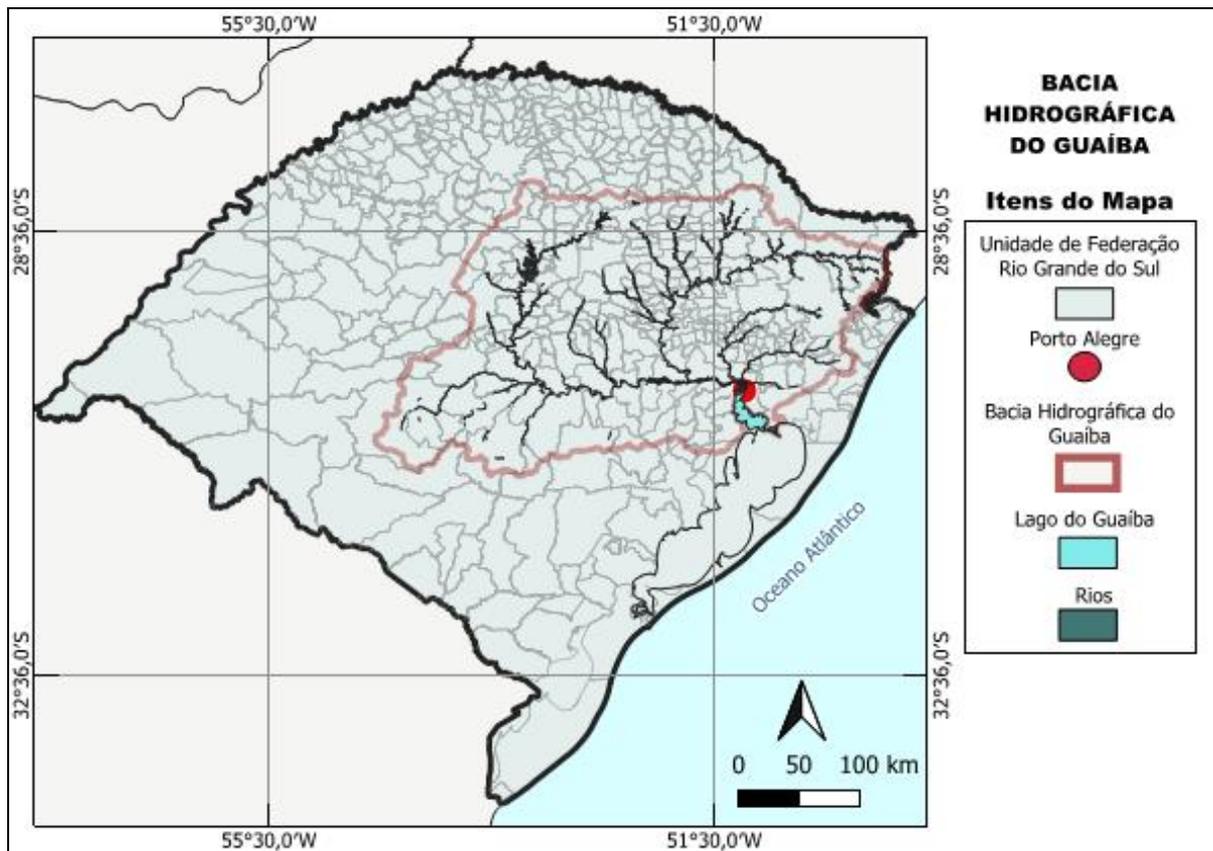
Fonte: Autoral 2025 / dados IBGE, 2025.

Mapa 7: População dos municípios que integra a Bacia do Guaíba.



Fonte: Autoral 2025 / dados IBGE, 2025.

Mapa 8: Bacia Hidrográfica do Guaíba.



Fonte: Autoral 2025 / dados IBGE, 2025.

A análise preliminar dos mapas 6, 7 e 8, indicam que os rios Jacuí e Caí apresentam maior potencial para a implantação de barragens devido a seus maiores volumes de água e à presença de trechos com menor densidade populacional. Esses fatores reduzem os impactos socioambientais e econômicos associados à construção e operação das barragens.

Adicionalmente, observa-se que os rios Jacuí e Caí possuem as maiores extensões dentro da bacia hidrográfica, o que reforça sua relevância estratégica para o planejamento integrado dos recursos hídricos e a mitigação dos impactos das cheias na região.

- **Açudes e Reservatórios de Retenção**

A construção de pequenos açudes e reservatórios ao longo dos cursos d'água também é uma medida eficaz para armazenar o excesso de água durante períodos de alta precipitação. Além de regular a vazão dos rios, esses reservatórios podem

ser utilizados para abastecimento humano e irrigação em períodos de seca, contribuindo para a segurança hídrica regional.

- **Canalizações e Desvios**

A criação de canais de desvio planejados estrategicamente permite redirecionar parte do fluxo hídrico para áreas de menor impacto ou para reservatórios temporários, reduzindo a pressão sobre o estreito do Guaíba. Essa abordagem, quando integrada a outras soluções, otimiza o gerenciamento de águas pluviais e minimiza o risco de inundações em áreas críticas.

- **Reflorestamento e Conservação de Matas Ciliares**

A recuperação e ampliação da cobertura vegetal nas margens dos rios são fundamentais para reduzir o escoamento superficial, promover maior infiltração de água no solo e proteger contra a erosão. Além disso, matas ciliares desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade da água, filtrando sedimentos e poluentes antes que eles atinjam os corpos hídricos.

- **Uso de Tecnologias de Retenção Urbana**

A adoção de tecnologias como pavimentos permeáveis, bacias de retenção e sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS) podem reduzir significativamente o escoamento superficial em áreas urbanas. Esses sistemas ajudam a gerenciar grandes volumes de água durante eventos extremos, evitando enchentes locais e contribuindo para a retenção de águas pluviais em sua origem. Nos municípios que compõem a bacia dos rios Jacuí, Gravataí, Sinos e Caí, essas soluções podem ser implementadas para evitar a transferência do problema para municípios situados a jusante, como Porto Alegre, que sofre com a elevação do nível do Lago Guaíba devido ao estreito de apenas 900 metros.

- **Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas**

O planejamento do uso do solo em toda a bacia hidrográfica é uma estratégia essencial para controlar a vazão dos rios e minimizar os impactos de eventos climáticos extremos. A gestão integrada deve considerar zonas de amortecimento, áreas de proteção de recursos hídricos e o desenvolvimento de infraestrutura verde. Essa abordagem exige colaboração entre os municípios da bacia do Guaíba, promovendo uma governança compartilhada e respeitando as especificidades locais.

Com isto a bacia hidrográfica do Guaíba, que inclui as sub-bacias dos rios Jacuí, Caí, Sinos, Gravataí e outras áreas de contribuição direta, abrange aproximadamente 251 municípios do estado do Rio Grande do Sul. A integração de

medidas estruturais, como a construção de barragens e reservatórios, com soluções não estruturais, como reflorestamento e tecnologias sustentáveis de retenção urbana, é fundamental para mitigar os problemas de cheias e alagamentos. A adoção de uma gestão integrada e sustentável é crucial para proteger a população, os ecossistemas e a economia das regiões envolvidas, especialmente a capital, Porto Alegre, devido à sua vulnerabilidade geográfica e hidrológica. Apenas 67 municípios possuem uma população superior a 20 mil habitantes, o que indica que aproximadamente 27% desses municípios têm ou deveriam possuir um plano diretor urbano, conforme as diretrizes legais estabelecidas.

**4.4.** Aplicações de técnicas e tecnologias sustentáveis, eficientes e segura para os projetos de drenagem urbana afim de controlar e mitigar os problemas relacionados as enchentes e alagamentos no futuro.

- **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS):** Esses sistemas são técnicas para controle de inundações bastante difundido em outros países da Europa, Estados Unidos, Japão e Austrália, mas no Brasil ainda é pouco utilizado, faz parte dos modelos de sistemas de drenagem sustentáveis.

Segundo Ferreira (2021, p. 261), “a principal característica dos SUDS, contudo, reside na infiltração: através da promoção ou maximização da captação da água da chuva é possível reter na origem (evitando ou reduzindo o escoamento superficial) e também preservar a qualidade das águas”.

Esses sistemas incluem várias técnicas, como telhados e terraços verdes, superfícies permeáveis, faixas ou tiras filtrantes, poços ou valas de infiltração, drenos filtrantes, valas verdes, depósitos de infiltração, depósitos superficiais e enterrados de retenção, lagoas de retenção e Wetlands (áreas úmidas/banhos).

- **Modelo de Gerenciamento de Águas Pluviais (SWMM):** É um modelo computacional amplamente utilizado para simular o escoamento de águas pluviais em áreas urbanas, é um modelo dinâmico chuva-vazão desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA “Environmental Protection Agency”). Considera parâmetros como precipitação, infiltração, escoamento superficial e características dos elementos da rede de drenagem, como bocas de

lobo e poços de visita. Especialmente projetado para aplicação em áreas urbanas e simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial (ROSSMAN, 2012).

Esse modelo é bastante utilizado em vários países do mundo assim como no Brasil. O software oferece vários benefícios quando usado em projetos de drenagem urbana como: Manipulação de redes de tamanho ilimitado, Variedade de geometrias, modelagem de elementos especiais, simulação da quantidade e qualidade do escoamento, aplicabilidade ampla e monitoramento de bacias urbanas.

## 5. CONCLUSÃO

Em síntese pode-se observar que os sistemas e as técnicas de drenagem urbana das cidades brasileiras são obsoletos ou praticamente não existe, para grandes eventos climáticos relacionados as chuvas, o gerenciamento das águas pluviais praticamente não existe na maioria dos municípios, deixando-os totalmente vulneráveis e desprotegidos as catástrofes ambientais de inundações.

O ministério das cidades em seu sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (DMAPU), confirmou o que muitos noticiários mostram e que está ocorrendo com muitas cidades brasileiras, a falta de planejamento, a impermeabilização excessiva do solo, uso e ocupação do solo irregular e a falta técnicas sustentáveis de gestão da drenagem urbana.

O estado do Rio Grande do Sul deu amostras que sistemas robustos de drenagem urbana no âmbito de micro e macrodrenagem não são suficientes para eventos extremos, é preciso gerenciamento urbano através de políticas públicas eficientes e eficazes que visem mitigar tais problemas para o futuro, é necessário atualizar-se em relação ao desenvolvimento urbano e a impermeabilização e uso do solo.

Apesar das melhorias nas infraestruturas de drenagem, cidades brasileiras, como Porto Alegre, ainda enfrentam desafios relacionados ao crescimento urbano e adaptação às mudanças climáticas. O modelo higienista de drenagem é insuficiente para mitigar os impactos das enchentes, necessitando a adoção de técnicas sustentáveis e integradas, como drenagem urbana verde e captação e reuso de águas pluviais.

Este estudo reflete a realidade de muitas cidades brasileiras que, embora avancem na implementação de sistemas de drenagem, enfrentam problemas devido ao planejamento urbano desordenado e ao uso de modelos de drenagem que não priorizam a sustentabilidade, um modelo higienista que visa a evacuação das águas pluviais rapidamente. A crescente intensidade das chuvas exige a adoção de técnicas mais inovadoras e adaptativas.

A legislação brasileira nos âmbitos federal, estadual e municipal e as normas da ABNT de drenagem urbana e uso do solo, em muitos casos precisam de atualizações para buscar orientar os projetos e o gerenciamento da drenagem urbana nos centros urbanos, buscando uma melhor eficiência e eficácia na

execução e no gerenciamento, o artigo 182, parágrafo 4º da Constituição Federal de 1988 estabelece que o plano diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, ou seja, um instrumento básico para gerenciamento dos municípios não pode estabelecer que só a partir de 20 mil habitantes estes comecem a pensar em desenvolvimento e expansão urbana, muitos municípios se apropriam destas aberturas nas leis e deixam de cumprir seu papel para melhoria do desenvolvimento social e do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ALAMDARI, Nasrin, TERRI S., Hogue. **Avaliando os efeitos de medidas de controle de águas pluviais na percolação em bacias hidrográficas semiáridas usando um modelo de águas pluviais de alta resolução.** In: Revista de Produção Mais Limpa 375 (2022) 134073, Estados Unidos da América. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622036459>. Acesso em: 02 de Março de 2024. Título original: Evaluating the effects of stormwater control measures on percolation in semi-arid watersheds using a high-resolution stormwater model.

ALEGRE, 2021. Disponível em: [https://abrampa.org.br/wp-content/uploads/2023/01/ARTIGO\\_Sistemas-urbanos-de-drenagem-sustentavel-1.pdf](https://abrampa.org.br/wp-content/uploads/2023/01/ARTIGO_Sistemas-urbanos-de-drenagem-sustentavel-1.pdf). Acesso em: 18 maio 2024.

ASSEMAE - Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento. **Procedimentos técnicos de dimensionamento da Microdrenagem do município de santo André.** XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento De 24 a 29 de maio de 2015 – Poços de Caldas – MG. Disponível em: <https://trabalhosassemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/99/118/t118t4e1a2015.pdf>. Acesso em 29 de fevereiro de 2024.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH, 2015. 2ª Edição, 318 p.

BRASIL, lei de nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007. **Saneamento Básico.** Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm). Acesso em: 26 de Fevereiro de 2024.

BRASIL, **Constituição da república federativa do brasil.** 05 de outubro de 1988. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 28 de Fevereiro de 2024.

BRASIL, lei de nº 10.257 de 10 de julho de 2001. **Estatuto da Cidade.** Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10257.htm#:~:text=LEI%20No%2010.257%2C%20DE%2010%20DE%20JULHO%20DE%202001.&text=Regulamentação%20os%20arts.%20182%20e,urbana%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs.&text=Art.,Par%C3%A1grafo%20%C3%BAnico](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm#:~:text=LEI%20No%2010.257%2C%20DE%2010%20DE%20JULHO%20DE%202001.&text=Regulamentação%20os%20arts.%20182%20e,urbana%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs.&text=Art.,Par%C3%A1grafo%20%C3%BAnico). Acesso em: 28 de fevereiro de 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Painel de Informações de Saneamento do SNIS**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ap>. Acesso em: 10 de Abril de 2024.

BUTLER, David, DIGMAN, Christopher, MAKROPOULOS, Christos, DAVIES, John W. **Urban drainage**. Boca Raton : Taylor & Francis, CRC Press, 2018. Disponível em: [https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781498750592\\_A34208101/preview-9781498750592\\_A34208101.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781498750592_A34208101/preview-9781498750592_A34208101.pdf). Acesso em: 22 de Março de 2024.

CARVALHO, Eufrosina Terezinha Leão; CARVALHO, José Camapum de; GITIRANA JUNIOR, Gilson de Farias Neves; SALES, Maurício Martins; ABRÃO, Jorge Tadeu. **Poços como estruturas de infiltração**. In. Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília: Faculdade de Tecnologia, 2012.

CENTENO, Ayrtton. **Falhas na manutenção do sistema de proteção teriam agravado a maior inundação da história de Porto Alegre**. *Brasil de Fato*, 6 maio 2024. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2024/05/06/falhas-na-manutencao-do-sistema-de-protecao-teriam-agravado-a-maior-inundacao-da-historia-de-porto-alegre>. Acesso em: 13 fev. 2025.

CHAHAR, B. R.; GRAILLOT, D.; GAUR, S. **Storm-water management through infiltration trenches**. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. [s.l.], v.138, n.3, p.274–281, 2012. Disponível em: <https://hal.science/hal-00722639/document>. Acesso em: 16 de Março de 2024.

CLAYTOR, Richard A.; SCHUELER, Thomas R. **Design of Storm water Filtering Systems**. Ellicott City, MD: Center for Watershed Protection, 1996.

COLLISCHONN, Walter; RUHOFF, Anderson; CABELEIRA FILHO, Rafael; PAIVA, Rodrigo; FAN, Fernando; POSSA, Thais; PICKBRENNER, Karine. **Chuva da cheia de 2024 foi mais volumosa e intensa que a da cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Serviço Geológico do Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/06/Comparacao-2024-e-1941-final.pdf>. Acesso em: 23 de Novembro de 2024.

CORRÊA, Roberto Lobato. Resumo do livro **O Espaço Urbano**. Editora Ática, Série Princípios, 3a. edição, n. 174, 1995. p.1-16. Disponível em: <https://reverbe.net/cidades/wp-content/uploads/2011/08/Oespaco-urbano.pdf>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2024.

COUTINHO, Artur Paiva. **Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade do Recife**. Recife, 2013.

DECARLI, Nairane; FERRAREZE FILHO, Paulo. **Plano Diretor no Estatuto da Cidade: uma forma de participação social no âmbito da gestão dos interesses públicos**. Senatus, Brasília, v. 6, n. 1, p. 35-43, maio 2008. Disponível em: [https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/131832/Plano\\_diretor\\_estatuto\\_cidade.pdf?sequence=3&isAllowed=y#:~:text=%C2%A7%201%C2%BA%20%2D%20O%20Plano%20Diretor,mento%20e%20de%20expans%C3%A3o%20urbana](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/131832/Plano_diretor_estatuto_cidade.pdf?sequence=3&isAllowed=y#:~:text=%C2%A7%201%C2%BA%20%2D%20O%20Plano%20Diretor,mento%20e%20de%20expans%C3%A3o%20urbana). Acesso em: 28 de fevereiro de 2024.

FERREIRA, Ximena Cardozo. **Sistemas urbanos de drenagem sustentável como meio de controle de inundações**. In: Revista do Ministério Público do RS, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://www.revistadomprs.org.br/index.php/amprs/article/view/253/137>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2025.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. **Eventos Extremos**. 2021. Disponível em: <https://climaesaude.icict.fiocruz.br/eventos-extremos-0>. Acesso em: 14 fev. 2025.

GOLDENFUM, Joel Avruch. **O sistema de proteção contra inundações de Porto Alegre**. Portal UFRGS. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ufrgs/noticias/o-sistema-de-protecao-contrainundacoes-de-porto-alegre>. Acesso em: 24 nov. 2024.

GUEDES, Lilian. Em Belém, Estado entrega 4º trecho da Macrodrenagem da Bacia do Tucunduba. **Agência Pará**, Belém, 12 de janeiro de 2023. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/40706/em-belem-estado-entrega-4-trecho-da-macrodrenagem-da-bacia-do-tucunduba>. Acesso em: 29 de fevereiro de 2024.

**G1**. Engenheiros afirmam que Porto Alegre não fez a manutenção adequada do sistema de proteção contra inundações. **G1**, 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2024/05/23/engenheiros-afirmam-que-porto-alegre-nao-fez-a-manutencao-adequada-do-sistema-de-protecao-contrainundacoes.ghtml>. Acesso em: 13 fev. 2025.

**GUIA DE COBERTURAS VERDES**. Campo Grande – MS, 2021. Disponível em: [https://ppgees.ufms.br/files/2021/09/Guia\\_coberturas\\_verdes\\_nakamura.pdf](https://ppgees.ufms.br/files/2021/09/Guia_coberturas_verdes_nakamura.pdf). Acesso em: 20 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Introdução. Conheça o Brasil**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o%20brasil/territorio/20591-introducao.html>. Acesso em: 12 fev. 2025.

IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

Disponível em:

[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf). Acesso em: 13 fev. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA –INMET. **Inmet, Cemaden, Cenad e Inpe emitem nota técnica sobre os riscos geo-hidrológicos para o Rio Grande do Sul.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/inmet-cemaden-e-cenad-emitem-nota-t%C3%A9cnica-sobre-os-riscos-geo-hidrol%C3%B3gicos-para-o-rio-grande-do-sul>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2025.

IPH/UFRGS. (2024). **Nota técnica sobre a vazão de pico do Rio Guaíba durante as enchentes de maio de 2024.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/ufrgs/noticias/nota-tecnica-do-iph-aponta-que-vazao-do-guaiba-durante-enchente-foi-a-maior-ja-medida>. Acesso em 04 de Janeiro de 2025.

LING, Anthony; INGLÊS, Roberta. **Entendendo as enchentes em Porto Alegre | Parte 1. Caos Planejado.** Porto Alegre, 2024. Disponível em:

<https://caosplanejado.com/entendendo-as-enchentes-em-porto-alegre-parte-1/>.

Acesso em: 24 nov. 2024.

## **MANUAL DE MELHORES PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DE ÁGUAS**

**PLUVIAIS.** Capítulo 9.5: Bacias de infiltração. Nova Jersey – USA, 2016. Disponível em:

[https://conservationtools-production.s3.amazonaws.com/library\\_item\\_files/1872/2124/NJ\\_SWBMP\\_9.5.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIQFJLILYGVD4AMQ%2F20240324%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20240324T210524Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=83c3c2756c78d5bb649a29d8d13723e89beaa4efc36c9865079f0c19861c2f65](https://conservationtools-production.s3.amazonaws.com/library_item_files/1872/2124/NJ_SWBMP_9.5.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIQFJLILYGVD4AMQ%2F20240324%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20240324T210524Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=83c3c2756c78d5bb649a29d8d13723e89beaa4efc36c9865079f0c19861c2f65). Acesso em: 24 mar. 2024.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de. **Avaliação hidrodinâmica de trincheira de infiltração no manejo das águas pluviais urbanas.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 136 folhas.

MELO, T. DOS A. T. de; COUTINHO, A. P.; SANTOS, J. B. F. dos; CABRAL, J. J. da S. P.; ANTONINO, A. C. D.;

LASSABATERE, L. **Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas.**

Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 53-72, jul./set. 2016.

ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300092>. Acesso em: 16 de Março de 2024.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas.**

2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ap>. Acesso em: 18 maio 2024.

ONU Habitat. 2022. **População mundial será 68% urbana até 2050. Nações Unidas Brasil.**

Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>.

Acesso em: 06 de janeiro de 2025.

Organização Meteorológica Mundial (OMM). **Relatório sobre o Estado do Clima em 2023.**

Disponível em: <https://public.wmo.int/en/resources/library/State-of-Climate-2023>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2025.

**ORGANIZADORES.** Brasília: Faculdade de Tecnologia, 2012. XXXVI, 644 p. il.; 155mm x 225mm. (Série Geotecnia – UnB, v. 4).

PIAZZA, P.; URSINO, N. **Modelling Infiltration Systems' Performance for Efficient, Sustainable or Circular Urban Water Drainage.**

Water 2022, 14, 2620.

<https://doi.org/10.3390/w14172620>. Academic Editor: Jiangyong Hu.

PLATAFORMA HUMAN. **Razões da tragédia no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 15 maio 2024.**

Disponível em: <https://plataformahuman.com.br/razoes-da-tragedia-no-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 17 nov. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Manual de Drenagem Urbana: Prevenção de Alagamentos e Enchentes.**

Porto Alegre, 2005. Disponível em:

<[https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu\\_doc/manualdedrenagem.pdf](https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manualdedrenagem.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2025.

RODRIGUES, Silvana Barbeitas Lourenço; JARDIM, Letícia Madeira; CARVALHO, Fabiana Ferreira de; FRAGA, João Paulo Rebechi; SOUZA, MatheusMartins de;

VERÔL, Aline Pires. **Levantamento e Análise de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável em Projetos de Arquitetura e Urbanismo.**

In: Cidades Verdes, ISSN Eletrônico 2317-8604, V. 11, nº32, 2023. Disponível em:

[https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades\\_verdes/article/view/4663/4485](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades_verdes/article/view/4663/4485). Acesso em: 29 de fevereiro de 2024.

ROSSMAN, Lewis A.. **SWMM 5.0 - manual do usuário**. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, BRASIL, 2012. Disponível em: <https://ct.ufpb.br/lenhs/contents/menu/assuntos/swmm>. Acesso em: 18 maio de 2024.

SCOTT J. McGrane. **Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review**, Hydrological Sciences Journal, 61:13, 2295-2311, 2016. DOI: 10.1080/02626667.2015.1128084. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02626667.2015.1128084?needAccess=true>. Acesso em 29 de fevereiro de 2024.

SIMÕES, Gustavo Ferreira, CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos, SOUZA, Cláudio Leite de, SILVA, Roberto Márcio da, PÁDUA, Valter Lúcio de, FERNANDES, Wilson dos Santos. **Trabalho Integralizador Multidisciplinar II: Projetos de Infraestrutura e Equipamentos Urbanos**. UFMG, 2019. Disponível em: <https://www.etg.ufmg.br/wp-content/uploads/2019/08/tim-2-2019-2-tr.pdf#page=18>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2024.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Projeto técnico: Microrreservatórios**. 2013. Disponível em: [https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF\\_Microrreservat%C3%B3rios\\_web.pdf](https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Microrreservat%C3%B3rios_web.pdf). Acesso em: 20 de Março de 2024.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. **Gestão da drenagem urbana no brasil: desafios para a sustentabilidade**. In. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). v.1, n.1, p. 057-072, 2013 – ISSN: 2317-563X. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7105>. Acesso em: 29 de fevereiro de 2024.

TRINDADE, Pedro. **Nível do Guaíba passa de 4,6 metros, e águas invadem ruas e rodoviária de Porto Alegre**. G1, 3 maio 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/03/nivel-do-guaiba-0305-porto-alegre.ghtml>. Acesso em: 13 fev. 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Águas Urbanas. Estudos Avançados**. v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295/11943>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2024.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p.

TUCCI, Carlos E. M.. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. 91501-970 – Porto Alegre - RS. In. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 2 n.2, 1997. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/56/db01fdcd78c5843f024709a1bf2b7bdb\\_6f0118d184384e38afda2b400a5d6458.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/56/db01fdcd78c5843f024709a1bf2b7bdb_6f0118d184384e38afda2b400a5d6458.pdf). Acesso em: 07 de Janeiro de 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Porto Alegre. UFRGS, 2005. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o\\_de\\_Aguas\\_Pluviais\\_PDF](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais_PDF). Acesso em: 13 fev. 2025.

TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel Avruch. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 5-20, 1996. Disponível em: <https://professor.ufrgs.br/joel-goldenfum/files/geren.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

UN-HABITAT (ORG.). **The value of sustainable urbanization**. Nairobi, Kenya: UN-Habitat, 2020. Disponível em: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr\\_2020\\_key\\_findings\\_and\\_messages.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_key_findings_and_messages.pdf). Acesso em: 29 de fevereiro de 2024.